



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

KONSTRUKČNÍ NÁVRH MĚŘICÍHO VOLANTU

DESIGN OF A MEASURING STEERING WHEEL

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. TOMÁŠ PAPP

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAN VANČURA, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Tomáš Papp

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Automobilní a dopravní inženýrství (2301T038)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Konstrukční návrh měřicího volantu

v anglickém jazyce:

Design of a measuring steering wheel

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem diplomové práce je konstrukční návrh měřicího volantu včetně výběru snímačů pro měření krouticího momentu a úhlu natočení, resp. rychlosti natáčení volantu. Na základě tohoto návrhu bude následně vyroben prototyp zařízení.

Cíle diplomové práce:

1. Proved'te rešerši konstrukčních řešení dostupných komerčních měřicích volantů (MSW).
2. Proved'te rešerši dostupných snímačů úhlu, úhlové rychlosti a krouticího momentu.
3. Navrhněte vlastní řešení MSW použitelné pro vozy skupiny VWAG s možností variabilního uchycení k tyčím řízení jiných výrobců automobilů.
4. Konstrukční návrh MSW doplňte o systém aretace požadovaných krajních poloh úhlu natočení volantu.
5. Proved'te cenovou kalkulaci a zajistěte výrobu prototypu.
6. Otestujte prototyp.

Seznam odborné literatury:

GILLESPIE, T. D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1992. ISBN 1-56091-199-9.

MILLIKEN, William a MILLIKEN, Douglas.: Race Car Vehicle Dynamics. 1st edition. Warrendale: SAE, 1995. 857 s. ISBN 1-56091-526-9.

REIMPELL, Jornsens. The Automotive Chassiss. 2nd edition. Oxford: Butterworth - Heinemann, 2001. 444 s. ISBN 0 7506 5054 0.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Vančura, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 27.10.2014

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Táto diplomová práca pojednáva o konštrukčnom návrhu meracieho volantu. Zariadenie nahrádza pôvodný volant v testovanom automobile, je napojené na tyč riadenia pomocou adaptéru. Snímané veličiny sú krútiaci moment v riadení a aktuálny uhol natočenia volantu. Zariadenie slúži na meranie týchto veličín v reálnom čase počas jazdy. Z ich záznamu je možné sledovať určité dynamické aspekty vozidla.

KLÍČOVÁ SLOVA

Merací volant, krútiaci moment, natočenie, dynamika vozidla

ABSTRACT

This diploma thesis describes construction design of a measuring steering wheel. This mechanism replaces the original steering wheel in the tested vehicle. Connection is made via steering shaft through an adapter. Measured parameters are steering torque and angular position of steering while driving. Measurements obtained during test-ride show some of the dynamic aspects of the tested vehicle.

KEYWORDS

MSW, measuring steering wheel, steering torque, positioning, vehicle dynamics



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PAPP, T. *Konstrukční návrh měřicího volantu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 60 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Vančura, Ph.D..



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jana Vančury Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 29. května 2015

.....

Tomáš Papp



PODĚKOVÁNÍ

Ďakujem Ing. Janovi Vančurovi, Ph.D., za spoluprácu a trpezlivosť, doc. Ing Václavu Píštěkovi DrSc. za ústretovosť, p. M. Tálskemu a p. M. Taubertovi za podporu vzdelávania.



OBSAH

Úvod	7
1 Snímače	11
1.1 Snímače v meracích volantoch	12
1.1.1 Prstencové enkodéry	12
1.1.2 Inkrementálne hriadeľové enkodéry	13
1.1.3 Virtual absolútne hriadeľové enkodéry	13
1.1.4 Absolútne hriadeľové enkodéry	14
1.1.5 Viacotáčkové enkodéry	15
1.1.6 Snímače krútiaceho momentu	16
1.1.7 Snímanie uhlovej rýchlosti	19
2 Prehľad komerčných meracích volantov	20
2.1 Merací volant all-in-one s adaptérom na tyč riadenia	20
2.2 Merací volant all-in-one s uchytením na volante	21
2.3 Merací volant s externým snímačom natočenia s uchytením na volante	22
2.4 Merací volant hriadeľový	23
3 Výber snímačov pre vlastný návrh MSW	25
3.1 Stanovenie cieľových parametrov snímačov	25
3.2 Snímač krútiaceho momentu	25
3.3 Snímač polohy	28
3.4 Merací systém	30
4 Konštrukčný návrh MSW Evo 3	31
4.1 Spôsob pohonu snímača polohy	31
4.2 Spôsob prenosu signálu a napájanie snímača krútiaceho momentu	32
4.3 Základňa	37
4.4 Nákrúžok	38
4.5 Adaptér volantu	39
4.6 Volant	39
4.7 Príruba riadenia	40
4.8 kryt MSW	41
4.9 Návrh systému aretácie krajných polôh	41
4.10 Adaptér tyče riadenia	42



4.11	Spojovací materiál.....	44
5	Alternatívne riešenia.....	45
5.1	MSW Evo 1	45
5.2	MSW Evo 2	46
6	Dosiahnuté výsledky	47
6.1	Výroba MSW	47
6.2	Zostavenie MSW	51
6.3	Montáž a demontáž MSW	52
6.4	Princípy merania	52
6.5	Možnosti pre zlepšenie	53
7	Cenová kalkulácia.....	54
	Záver.....	55
	zoznam použitých skratiek a symbolov	59
	Zoznam príloh	60

Úvod

V dnešnej dobe je otázka bezpečnej jazdy neoddeliteľnou súčasťou vývoja. Aj podpriemerné automobily už dosahujú maximálnu rýchlosť 150 km.h^{-1} . Aktívne bezpečnostné systémy zlepšujú ich ovládateľnosť.

Cieľom tejto diplomovej práce je konštrukčný návrh meracieho volantu (MSW). Slovné spojenie merací volant v tejto práci označuje sústavu, ktorá obsahuje dva snímače a bude schopné v reálnom čase snímať veličiny krútiaci moment v tyči riadenia a uhol natočenia volantu. Vhodne zvolené snímače poskytnú dobre interpretovateľný analógový výstup, ktorý bude možné ďalej spracovať, napr. deriváciou bude možné získať uhlovú rýchlosť a zrýchlenie natočenia. Automobily so stabilizačným systémom nimi sú síce vybavené, ale nie je možné jednoduchým spôsobom zbierať a vyhodnocovať dáta, ktoré poskytujú, pretože využívajú zbernicu CAN-Bus. Dôležitou súčasťou návrhu bude aj dodržanie určitých ergonomických pravidiel, keďže meranie bude prebiehať počas jazdy a nainštalovaný merací volant nesmie prekážať v bezpečnej prevádzke vozidla (výhľad, zásah do pracovného priestoru vodiča). Návrh vychádza z komerčne dostupných riešení, ktoré budú priblížené ďalej a pracuje s vopred určeným rozpočtom.

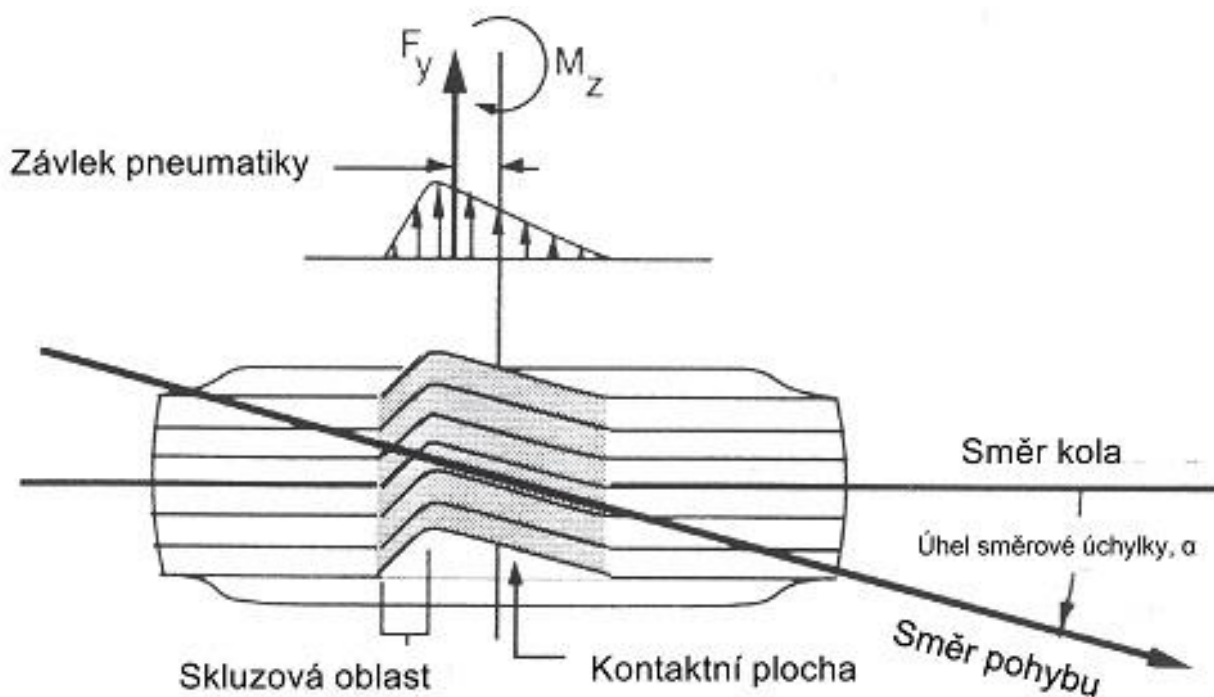


Obr. 1: OEM snímač polohy a momentu zn. Bosch [4]

Prečo merať krútiaci moment v riadení?

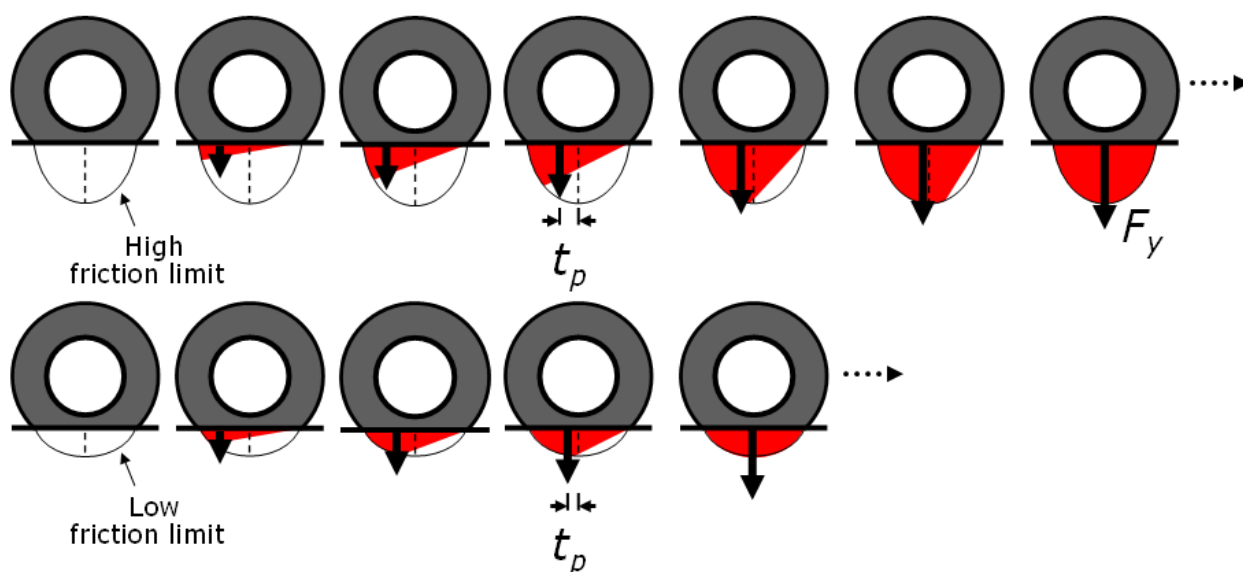
Vyššie opísané stabilizačné systémy sú reaktívne, to znamená, že zasiahnu, až keď je prekonaný limitný stav. Keby riadiaca jednotka mala informácie o uhle smerovej odchýlky pneumatiky a limite bočnej sily, systémy by mohli predvídať zníženie stability vozidla.

Bolo zistené, že tento stav sa dá dobre odhadnúť z momentu v riadení. Je to suma momentov, ktoré vznikajú zo síl pôsobiacich na pneumatiku, pôsobením vodiča, prípadne aktuátormi riadenia, ako je elektronický posilňovač riadenia. Patrí sem aj moment vyvolaný bočnou silou pneumatiky.

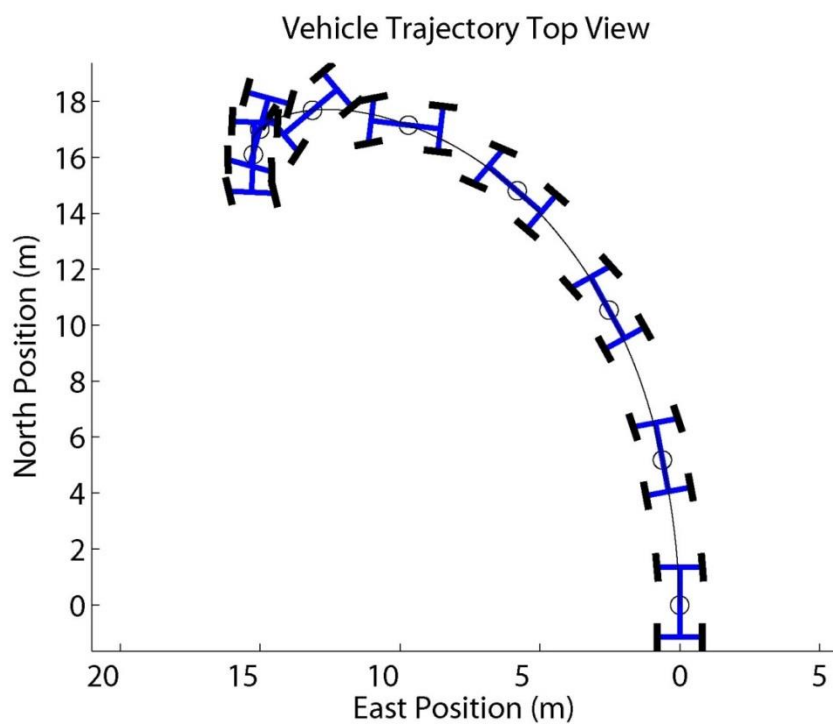


Obr. 2: Bočná síla F_y vratný moment M_z [5]

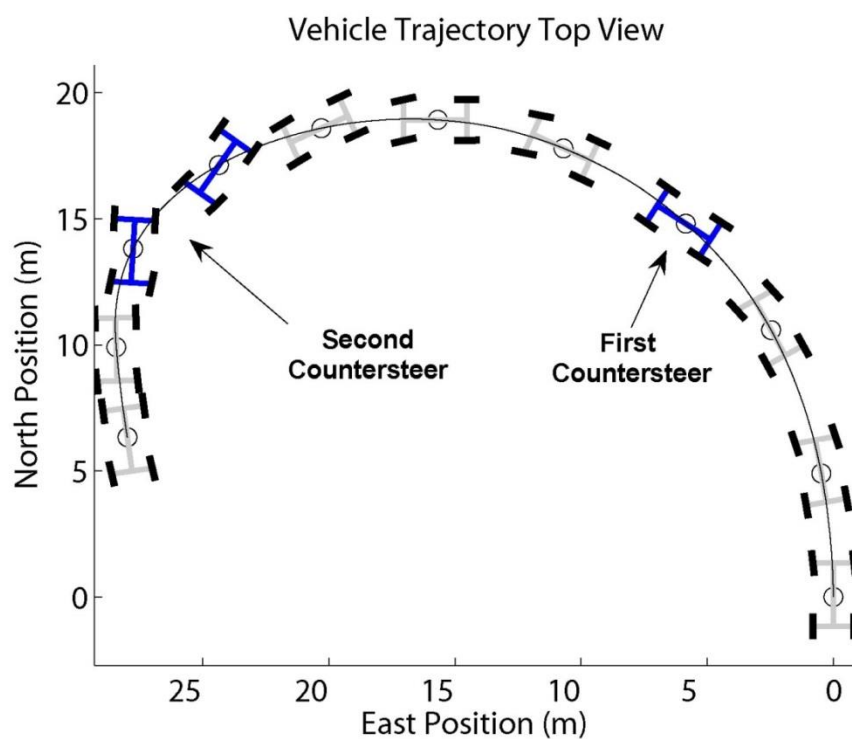
Na nasledujúcom obrázku je vidno, ako je bočná sila generovaná deformáciou pneumatiky, pre povrch s vysokým resp. nízkym koeficientom trenia, za predpokladu parabolického rozloženia tlaku v kontaktnej ploche. Pneumatika smeruje doprava, na začiatku sa pohybuje priamo, bez bočného zaťaženia. To postupne rastie, až prekoná treciu silu a nastane šmykový pohyb smerom k čitateľovi. S nárastom smerovej odchýlky pneumatiky sa mení bočná sila F_y . Pri dosiahnutí limitu adhézie pôsobí bočná sila F_y v zvislej ose pneumatiky a zaniká závlak pneumatiky. Tu je viditeľný význam sledovania momentu v riadení v súvislosti s bočným zaťažením vozidla. Experiment dokázal, že adhézny limit určitého povrchu je takto možné predvídať už pri 50% maxima bočného zaťaženia.[6]



Obr. 3:Vznik a nárast bočnej sily v pneumatike [6]



Obr.4: Trajektória vozidla, ktoré prekročilo limit adhézie[6]



Obr. 5: Bočná sila pod limitom adhézie [6]



1 SNÍMAČE

Snímač je funkčný prvok a tvorí vstupný blok meracieho reťazca, ktorý je v priamom styku s meraným prostredím. Používajú sa tiež termíny senzor, prevodník (angl.transducer) alebo detektor. Senzor sníma sledovanú fyzikálnu, chemickú, alebo biologickú veličinu a transformuje ju na výstupnú veličinu – zvyčajne analógový alebo digitálny elektrický signál.

Typy snímačov

Podľa meranej veličiny:

- snímače teploty, tlaku, prietoku, optických veličín, mechanických veličín (posunutia, polohy, rýchlosti, zrýchlenia, sily, mechanického napätia) a iné.

Podľa fyzikálneho princípu:

- snímače odporové, indukčnosťné, indukčné, kapacitné, magnetické, piezoelektrické, pyroelektrické, optické, chemické, biologické a iné.

Podľa styku snímača s meraným prostredím:

- bezdotykové, dotykové.

Podľa transformácie signálu:

- aktívne, pasívne.

Podľa použitej technológie:

- elektromechanické, mechanické, pneumatické, elektrické, elektronické, elektrochemické, polovodičové, optoelektronické a iné.

Podľa výstupu:

analógový – amplitúda, frekvencia, strieda napätia, amplitúda prúdu; digitálny; dvojstavový.

Aktívny snímač – pôsobením snímanej veličiny sa správa ako zdroj energie (fotodióda, indukčný snímač, Wiegandov jav).

Pasívny snímač – k činnosti potrebuje externé napájanie.

Typické pasívne parametre snímačov sú:

- citlivosť, prah citlivosti, dynamický rozsah, reprodukovateľnosť, rozlíšiteľnosť, aditívne a multiplikatívne chyby, linearita.

1.1 SNÍMAČE V MERACÍCH VOLANTOCH

Snímač aktuálnej polohy volantu môže byť prstencový enkodér okolo tyče riadenia, kde snímanie prebieha bezkontaktné, alebo hriadeľový enkodér, na ktorý sa mechanickým prepojením s tyčou riadenia prenáša rotačný pohyb. V oboch prípadoch je nutné zabezpečiť nepohyblivé upevnenie statorovej časti snímača, inak by vznikala chyba v meraní, alebo by neprebiehala vôbec.

Na prekonanie síl, ktoré pôsobia v kontakte pneumatiky s povrchom a prenášajú sa do riadiacej sústavy je potrebný krútiaci moment, ktorý vzniká silovým pôsobením vodiča vozidla na jeho volant. Preto sa snímač momentu osádza axiálne na tyč riadenia. V tele snímača vzniká torzné namáhanie, na ktoré reagujú tenzometre. Vložený torzný pružný člen je špeciálne tvarovaný na tieto účely.

1.1.1 PRSTENCOVÉ ENKODÉRY

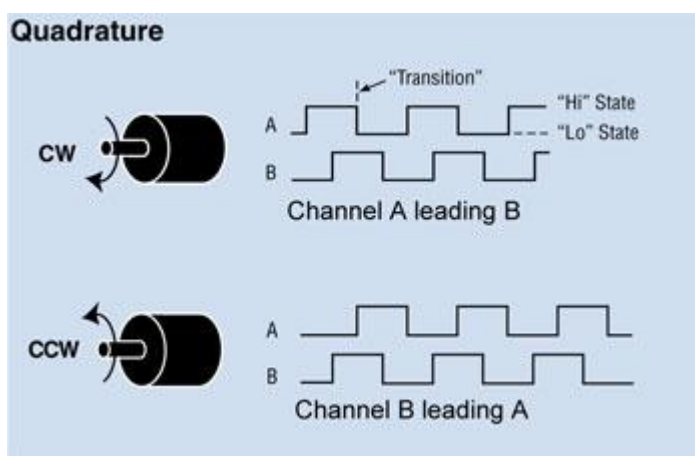
Kompaktná čítacia hlava sníma magnetické pole, ktorého zdrojom je zmagnetizovaný prstenec. Tieto enkodéry sa vyznačujú vysokou presnosťou a vďaka bezkontaktnému prenosu nevznikajú mechanické straty a vnesené chyby do merania. Osová zástavba znižuje nároky na priestor. Nevýhodou môže byť jednootáčkové prevedenie.



Obr. 6: Prstencový bezkontaktný snímač [7]

1.1.2 INKREMENTÁLNE HRIADEĽOVÉ ENKODÉRY

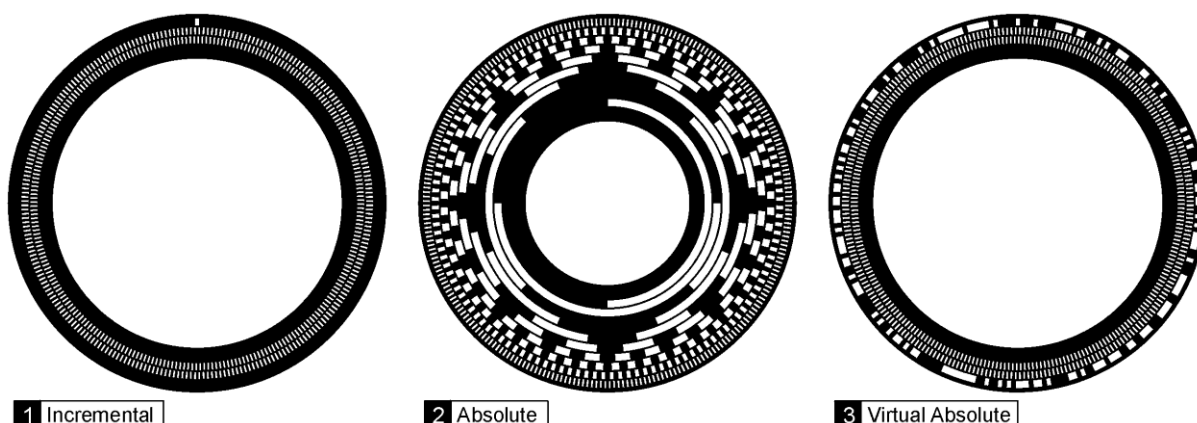
Inkrementálny rotačný enkodér meria uhlové hodnoty prostredníctvom počítania určitých prvkov umiestnených v pravidelných rozstupoch od voliteľného počiatku. Táto metóda s ohľadom na jej podstatu neposkytuje signál, ktorý by odpovedal absolútnej hodnote. Preto je pri každej polohovacej úlohe nutné najprv stanoviť nejaký referenčný bod, ktorý bude zodpovedať nulovej pozícii snímača, a to vždy pri štarte riadiaceho systému a tiež pri každom prerušení napájania. Rozlíšenie enkodéru je definované počtom krokov za otáčku. Najbežnejšie sú mechanické, magnetické a optické prevedenia. Kvadrátúry enkodér obsahuje na otočnom disku stopy A, B a Z a produkuje výstupné signály A, B len keď je v pohybe. Fázový posun signálov o 90° umožňuje rozlíšiť smer otáčania.



Obr.7: Tvorba signálu inkrementálneho snímača [8]

1.1.3 VIRTUAL ABSOLÚTNE HRIADEĽOVÉ ENKODÉRY

Tento optický typ pracuje na princípe inkrementov s tým, že je rozšírený o jednu stopu na disku, ktorá má úlohu identifikátora. Presná poloha po zapojení nie je známa, disk resp. hriadeľ musí vykonať krátke otočenie a vtedy sa definuje presná poloha.



Obr. 8: Porovnanie diskov rôznych typov snímačov [9]

1.1.4 ABSOLÚTNE HRIADEĽOVÉ ENKODÉRY

Absolútny rotačný enkodér uchováva informáciu o pozícii aj po prerušení napájania a je známa ihneď po opätovnom napojení. Je to dané tým, že každá pozícia enkodéru má priradenú jedinečnú identifikáciu. Vzťah medzi fyzickou pozíciou a vykazovanou hodnotou je dopredu stanovený kalibráciou a nie je potrebná rekalkulácia po každom prerušení napájania.

Optické enkodéry majú na hriadeľi kódový kotúč s priehľadnými a nepriehľadnými plochami. Infračervené svetlo z LED diódy prechádza cez kotúč a dopadá na pole fotoreceptorov. Pri otáčaní hriadeľa je v každom okamihu osvetlená určitá jedinečná kombinácia fotoreceptorov a zároveň iná je prekrytá. Dekódovanie zabezpečuje integrovaný mikročip. Tieto snímače poskytujú veľmi vysoké rozlíšenie a presnosť spolu s vynikajúcimi dynamickou odozvou a sú vhodné pre použitie v miestach so silným magnetickým poľom. Otáčanie kódových kotúčov je čisto mechanický proces bez potreby záložného zdroja, takže nehrozí strata údajov o absolútnej polohe pri dočasnom výpadku zdroja napätia.

Magnetické enkodéry fungujú na báze Hallovho efektu, podstatou je snímanie zmeny polarizácie magnetického poľa permanentného magnetu pripevneného k hriadeľu. Výhodou je robustnosť a kompaktnosť. Neobsahujú žiadnu batériu ani prevody, sú mechanicky jednoduché.

Enkodéry na báze kapacitancie. Asymetricky tvarovaný kotúč svojou rotáciou mení kapacitanciu medzi dvoma elektródami a táto zmena sa dá prepočítavať na uhlovú hodnotu.



Obr. 9: Hriadeľový snímač [10]

1.1.5 VIACOTÁČKOVÉ ENKODÉRY

Dokážu rozoznať zmenu natočenia vyššiu ako 360° a rozlišujú jednotlivé otáčky. Fungujú na nasledovných princípoch:

Záložná batéria:

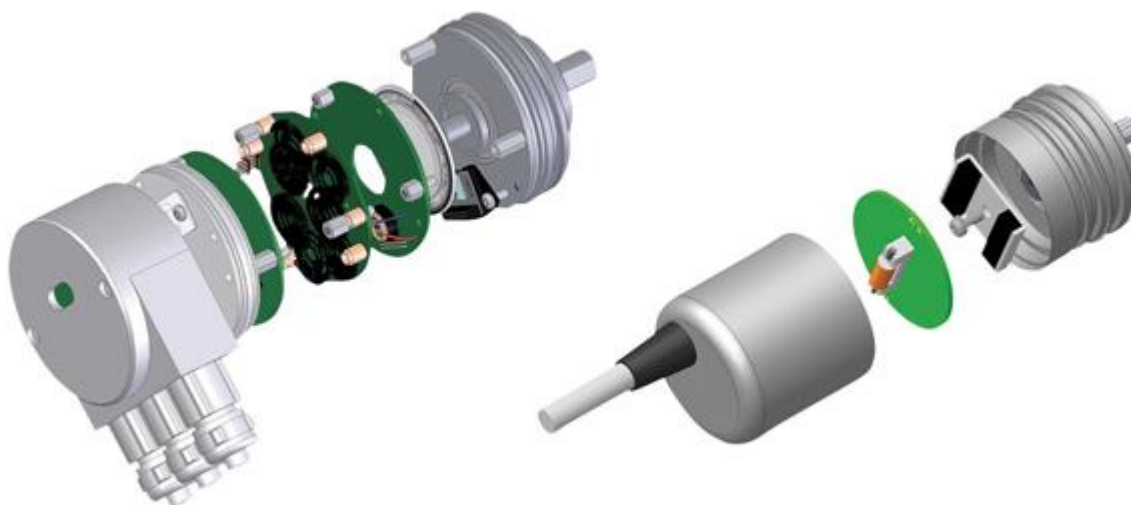
Batéria dodáva a udržuje napätie pre uchovanie počtu otáčok aj bez externého zdroja.



Obr. 10: Obvody snímača so záložnou batériou [11]

Sprevodované vedľajšie kódové kotúče:

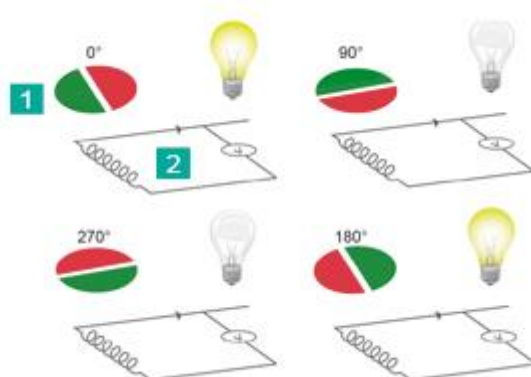
Prepojené kotúče sa otáčajú spolu s hlavným hriadeľom. Rotačná poloha každého kotúča je sledovaná opticky a výstupom je počet celých otáčok hriadeľa snímača.



Obr. 11: Sprevodovaný a samonapájaný snímač [12]

Samonapájanie:

Táto technológia je založená na Wiegandovom jave. Keď sa permanentný magnet na hriadelí snímača otočí o určitý uhol, magnetická polarita vo Wiegandovom vodiči, nachádzajúcom sa v poli tohto magnetu, sa náhle zmení, pričom indukuje krátkodobú napäťovú špičku v cievke, cez ktorú vodič prechádza. Tento impulz jednak charakterizuje otáčanie hriadeľa a tiež slúži ako napájacie napätie pre elektronický obvod zaznamenávajúci túto udalosť. Tento jav sa spoľahlivo vyskytuje aj vo veľmi pomalých otáčkach a nevyžaduje žiadne záložné batérie.



Obr. 12: Wiegandov jav [13]

1.1.6 SNÍMAČE KRÚTIACEHO MOMENTU

Na trhu prevládajú snímače založené na deformačných účinkoch krútiaceho momentu. Z rozboru mechanických napätí hriadeľa, alebo pružného členu v tvare plného alebo dutého valca vyplýva, že hlavné napätia sú orientované pod uhlom 45° k ose. Jedná sa o napätie typu ťah - tlak s nulovou šmykovou zložkou a s maximálnou hodnotou na povrchu valca. Najväčšia citlivosť a kompenzácia vplyvu teplotnej dilatácie a ohybových deformácií sa dosiahne nalepením štyroch aktívnych tenzometrov pod uhlom 45° , pričom dva z nich sú umiestnené na opačných stranách pružného členu.

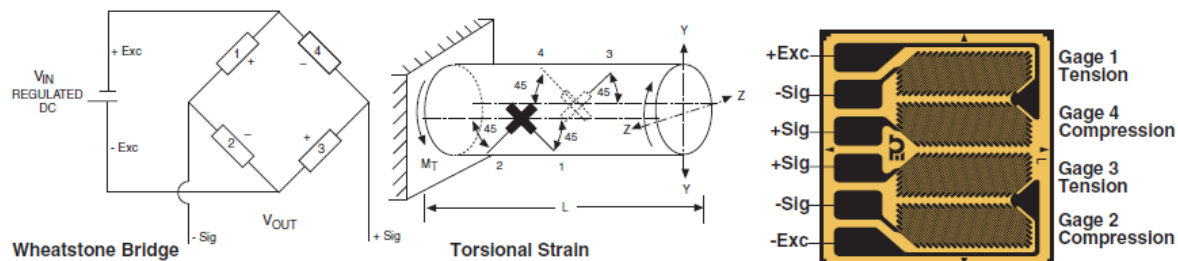
Návrh pružného členu je kompromisom medzi požiadavkou citlivosti a dynamických vlastností, vyžadujúcich veľkú tuhosť. Z tohto pohľadu je vhodný dutý valec, ďalšie používané tvary sú križový a prstencový pružný člen.

Základné typy sú:

- valcový (trubkový)
- prstencový

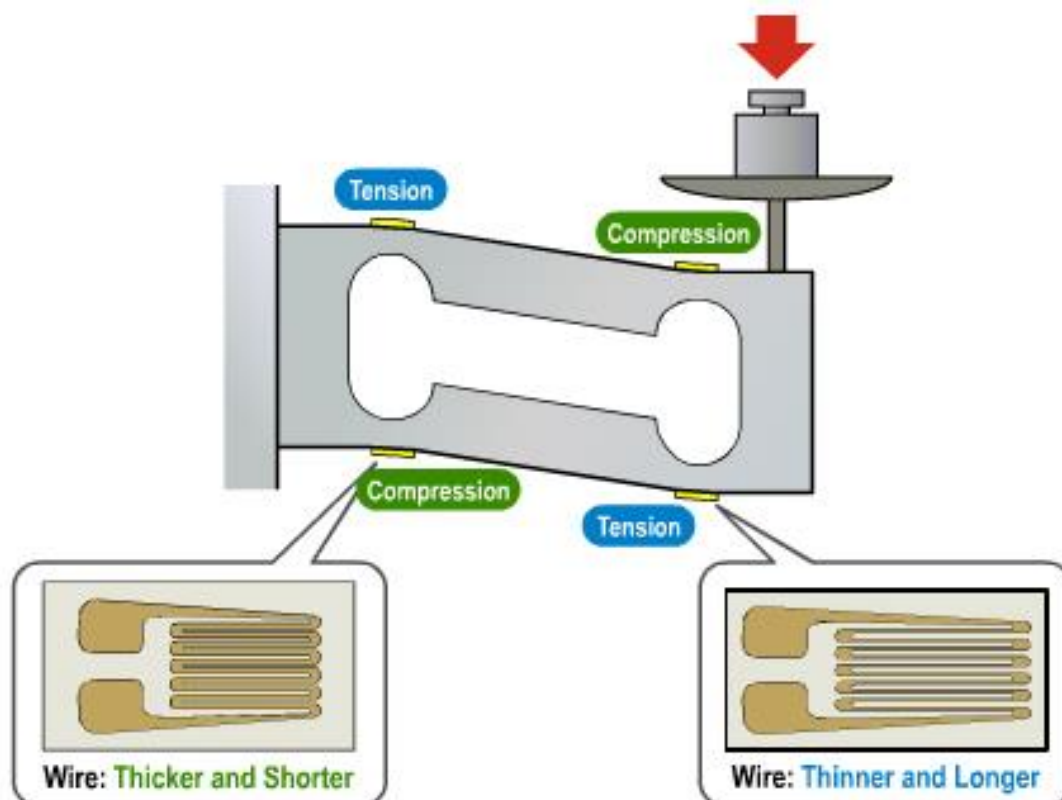
Ich výhodou sú kompaktné rozmery a dobré možnosti rozšírenia o rôzne fabrikované adaptéry. Zásadne sa líšia v tvare pružného členu.

Valcový typ má príruby spojené štyrmi tenkými plochami rozloženými po 90° , kde protiľahlé plochy sú vzájomne paralelné, na ktorých sú osadené tenzometre pre torzné napätie. Zapojenie je zvyčajne do mostíku.

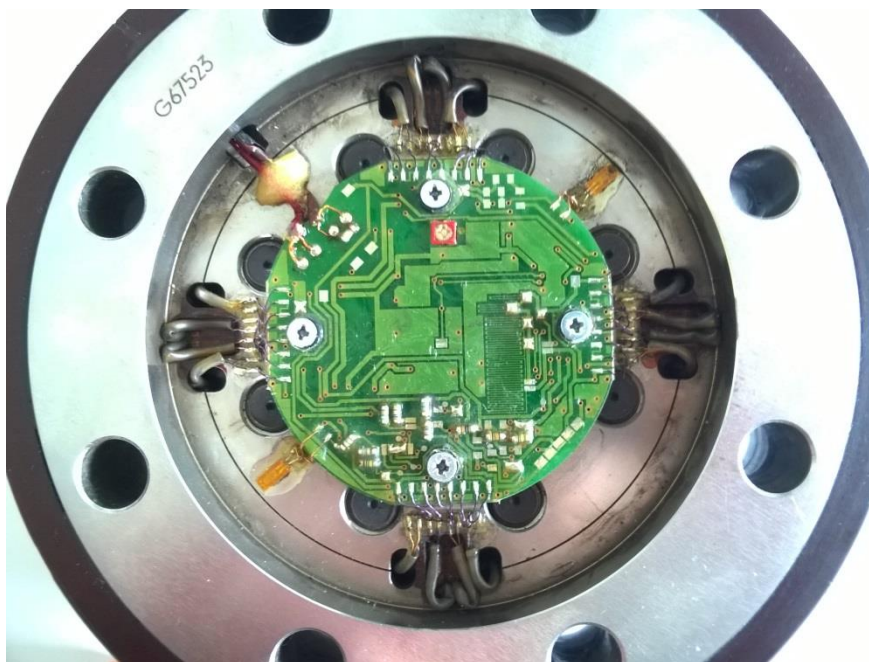


Obr. 13: Spôsob aplikácie torzného tenzometru Omega [14]

Prstencový typ tvoria dva prstence, ktoré sú prepojené pružnými členmi typu paralelogram s možnosťou vytvoriť z použitých tenzometrov typu ťah - tlak dva plné mostíky. Na obrázku je princíp funkcie pružného člena so štyrmi tenzometrami typicky zapojenými do mostíku.



Obr. 14: Vysvetlenie funkcie paralelogramu [15]



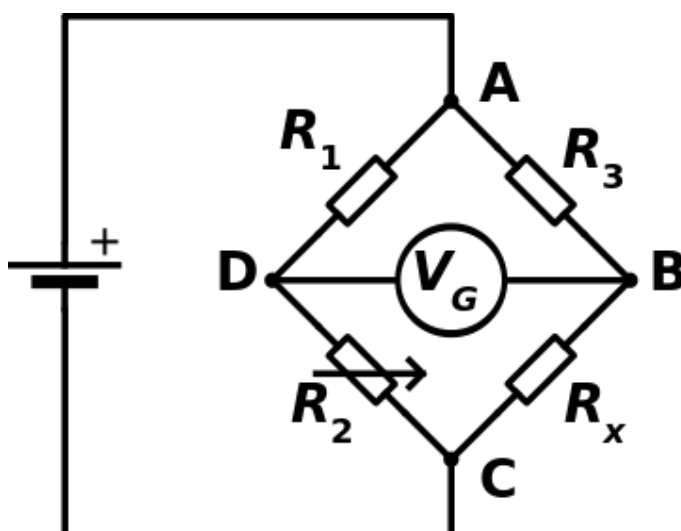
Obr. 15: Obvody snímača HBM TB2

Spomínané zapojenie tenzometrov do plného mostíku je vlastne vytvorenie Wheatstone mostíku. Používa sa na meranie odporov a ich malých zmien. Mostík sa zvyčajne zakresľuje spôsobom zobrazeným na obrázku. Skladá sa z dvoch vetiev (R_1 , R_2 a R_3 , R_x) pripojených na jednosmerný napájací zdroj. Vetvy sa správajú ako deliče napätia. Zjednodušenou úvahou (pre prípad odpojeného merania V_G) dôjdeme k záveru, že pokiaľ je napätie medzi bodmi D a B nulové, teda mostík je vyvážený, musí platiť:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x} \quad (1)$$

z čoho pre neznámy odpor R_x platí:

$$R_x = \frac{R_3 R_2}{R_1} \quad (2)$$



Obr. 16: Schematické zapojenie Wheatstoneovho mostíku [16]

Výhody zapojenia do plného mostíku sú:

- rovnaké odpory R_i tenzometrov, zapojených do mostíku tak, aby protiľahlé senzory boli podrobené deformácii rovnakého a susediace opačného znamienka, anulujú činiteľ nelinearity.
- citlivosť v porovnaní so štvrtinovým mostíkom je štvornásobná
- chyba vplyvom teploty je nulová, ak sú všetky tenzometry identické a na rovnakej teplote
- chyby vplyvom odporu prívodov sú zanedbateľné, ak je dodržaná minimálna dĺžka spojov medzi ramenami

1.1.7 SNÍMANIE UHLOVEJ RÝCHLOSTI

Uhlová rýchlosť ω sa dopočítava externe a to deriváciou zmeny uhlu $d\varphi$ za rozdiel času dt . Signál z enkodéru je nutné vhodne filtrovať tak, aby mal dostatočne hladký priebeh pre deriváciu.

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad (3)$$

Niektoré hriadeľové snímače polohy majú zabudovaný tachogenerátor. Amplitúda indukovaného napätia je úmerná rýchlosti otáčania. [30]

2 PREHĽAD KOMERČNÝCH MERACÍCH VOLANTOV

V súčasnej dobe je na trhu dostupných viacero komplexných zariadení typu Measuring Steering Wheel (MSW). Tieto riešenia spájajú meranie krútiaceho momentu na tyči riadenia, uhlu natočenia volantu a uhlovej rýchlosti na jeho obvode. Výrobcovia ako Kistler, ATi, KMT Telemetry k problematike pristupujú rôzne. Podstatným aspektom pri návrhu takéhoto zariadenia je jeho vplyv na ergonómiu a bezpečnosť ovládania vozidla, keďže sa inštaluje priamo na existujúci volant v automobile, alebo pomocou adaptéru na tyč riadenia. Testy prebiehajú za jazdy a nie sú určené do premávky, ale patria na uzavretý skúšobný priestor.

Meracie volanty sú na trhu len v málo odlišnej konkurenčnej forme. Výrobcovia môžu použiť existujúce snímače, ktoré je v prípade poruchy jednoduché nahradiť a sú cenovo výhodnejšie. Na mieru vyrábané snímače poskytujú vynikajúce možnosti implementácie do celkovej konštrukcie a vznikajú veľmi kompaktné modulárne riešenia. Ich nevýhodou je vysoká cena. Ďalšie rozdiely sú hlavne vo variabilite pri montáži do rozličných vozidiel a bezzásahovej aplikácii. Rôzne kombinácie sú popísané v nasledujúcej časti.

2.1 MERACÍ VOLANT ALL-IN-ONE S ADAPTÉROM NA TYČ RIADENIA

Rozdiel oproti predchádzajúcemu modelu je v spôsobe montáže. Aretačný systém s hákmi je nahradený adaptérom, ktorý má vhodný vnútorný profil a tvorí protikus ku koncu tyče riadenia. Merací volant sa tak dostáva do ideálnej pozície vzhľadom v vodičovi. Nevýhodou je čas a často špeciálne nástroje potrebné na demontáž airbagu a volantu. Pri demontáži je nutné dodržiavať pokyny výrobcu automobilu.



Obr. 17: Merací volant FCA-7300 [17]

2.2 MERACÍ VOLANT ALL-IN-ONE S UCHYTENÍM NA VOLANTE

MSW je celé uložené v jednom tele. Tvorí ho okrem samotného tela zariadenia náhradný volant pripojený na jednej strane telesa snímača a aretačný systém na druhej strane. Ten je nepohyblivo prepojený s existujúcim vencom volantu. Snímaný krútiaci moment vzniká interakciou dvoch telies. Tento spôsob uchytenia sa realizuje pomocou troch posuvných hákov, ktoré sú rozťahnuté na priemer venca a uchytené. Rotačný enkodér je montovaný do puzdra zariadenia, ktoré je statívom a prísavkou upevnené napr. o čelné sklo. Prenos rotačného pohybu z riadenia na enkodér je pomocou ozubených kôl, alebo remeňa a dvoch remení uložených v puzdre.

Výhodou takéhoto systému je nenáročná a bezzásahová montáž na akýkoľvek automobil. Nevýhodou je, že volant sa počas testovania výrazne priblíži k telu šoféra a vzdiali od pedálov, čo neprispieva k bezpečnosti ovládania vozidla. Istá kompenzácia sa dá dosiahnuť na pozdĺžne nastaviteľnom volante v danom automobile. Je tiež veľmi dôležité deaktivovať airbag vodiča, keďže je prekrytý a nemá priestor na expanziu a v prípade nárazu by mohol byť vodič vážne zranený paradoxne bezpečnostným prvkom.



Obr. 18: Merací volant Kistler [18]

2.3 MERACÍ VOLANT S EXTERNÝM SNÍMAČOM NATOČENIA S UCHYTENÍM NA VOLANTE

Inou variantou je MSW, kde je stred zariadenia prázdny a tým pádom je podľa výrobcu zachovaná funkčnosť airbagu. Snímač krútiaceho momentu musí mať veľký vnútorný priemer. Rotačný pohyb je prenášaný pomocou reťaze a páru roziet na snímač. Tento spôsob sa vyznačuje radou nevýhod. Sprevodovanie do rýchla by malo dobrý vplyv na presnosť v prípade, že by bol prenos bez strát. Použitím reťaze bez predpätia sa akékoľvek jemné pohyby v riadení strácajú tým, že časť pohybu je spotrebovaná napnutím reťaze pred samotným prenosom pohybu na enkodér. Naopak, keď sa pohyb prenáša, sprevodovanie kladie vysoké nároky na presnosť a rozsah snímača. Jeho umiestnenie bráni vo výhlade a celková hmotnosť tohto mechanizmu by mohla spôsobiť jeho odpadnutie pri prejazde nerovnosťami.



Obr. 19: Merací volant ATi Telemetry [19]

2.4 MERACÍ VOLANT HRIADEĽOVÝ

Momentálne najvyspelejšie riešenie poskytuje KMT Telemetry. Svojou konštrukciou umožňuje použitie originálneho volantu a zachováva jeho plnú funkcionálnosť vrátane airbagu. Skladá sa z adaptéru na tyč riadenia, snímača krútiaceho momentu, prstencového magnetického snímača polohy a adaptéru pre pripojenie volantu. Všetky diely sú uložené na jednej ose a nepotrebujú puzdro, alebo nosný panel. MSW obsahuje 6 priechodných vodičov napr. pre airbag, klaksón atď. Prenos signálu na statickú časť je realizovaný cez zberné krúžky. Výrobok je navrhnutý tak, aby vydržal trojosé zaťaženie do 5G.



Obr. 20: KMT CLS pripravený na použitie [20]



Obr. 21: KMT CLS v rozloženom stave [20]



3 VÝBER SNÍMAČOV PRE VLASTNÝ NÁVRH MSW

Základnou myšlienkou tejto práce bolo vytvoriť špecifické zariadenie použiteľné pre školské účely, ktoré by bolo využívané pri testovaní dynamických vlastností vozidla merateľných na tyči riadenia. Motiváciou bolo dosiahnuť podobné parametre a presnosť, ako majú komerčné produkty, ale s obmedzeným rozpočtom maximálne 100 000 Kč. Pre tento účel bolo potrebné zvoliť spôsob merania krútiaceho momentu, polohy a rýchlosti natočenia a vhodne tieto technológie skombinovať do jedného kompaktného zariadenia. Voľba snímačov vytvorila základ zariadenia, ku ktorej sa prispôbovali ostatné kupované a vyrábané diely.

3.1 STANOVENIE CIEĽOVÝCH PARAMETROV SNÍMAČOV

Parameter	Momentový snímač	Uhlový snímač
Rozsah merania	$\pm 100 \text{ Nm}$	$\pm 3 \times 360^\circ$
Trieda presnosti	0,1 % z rozsahu	
Spotreba el. energie	Max. 1000 mA	
Napájanie	10..50 V DC	

3.2 SNÍMAČ KRÚTIACEHO MOMENTU

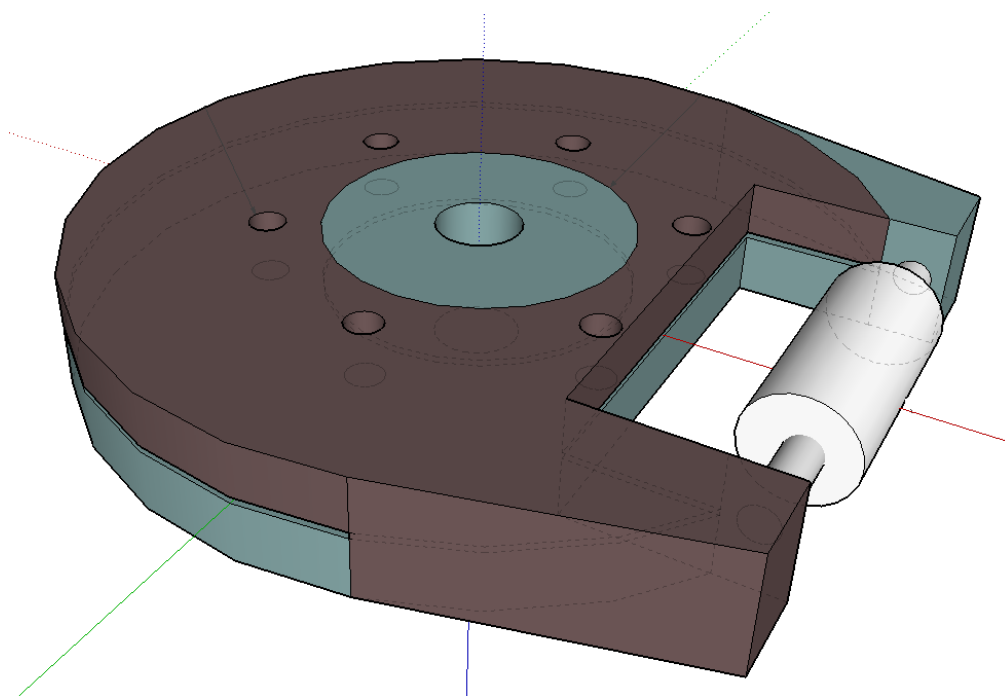
Prieskum trhu a ponuka známych výrobcov ukázali, že cena samotného momentového snímača môže ľahko prekročiť určený rozpočet. Preto som hľadal alternatívne riešenie.

Prvou možnosťou bolo osadenie vhodne tvarovanej hriadele fóliovými tenzometrami. Toto riešenie by bolo nenákladné, ale náchylné na opatrné zaobchádzanie. Zvyčajne sa aplikuje len pre dočasné použitie.

Na určenie pôsobiaceho momentu je možné použiť aj snímač sily, tzv. „load – cell“, ktorý je vhodne umiestnený. Bol preto navrhnutý teoretický mechanizmus. Skladá sa z dvoch prírub, ktoré majú spoločný stred rotácie, a sú prepojené s tyčou riadenia stredovou dierou a s volantom dierami po obvodu. Príruby tvoria pákový mechanizmus, v ich ramenách je upevnený snímač. Pre elimináciu iného ako ťahového a tlakového zaťaženia bol snímač umiestnený tak, že roviny, ktoré spája, majú pri vzájomnom pohybe minimálnu zmenu paralelity. Problematické by u tohto mechanizmu bolo zachovať presnosť merania bez potreby opakovanej časovo náročnej kalibrácie. Výrobné náklady by boli relatívne nízke, odhadom 10 000 Kč.



Obr. 22: Push-pull loadcell Forsentek [21]



Obr. 23: Návrh mechanismu s využitím loadcell

Reakčné snímače krútiaceho momentu sú monolitické a vyrábané zvyčajne z ocele. Použité tenzometre Vyznačujú sa pevnosťou, kompaktnými rozmermi a dobrými dispozíciami pre zástavbu. Z hľadiska výstupného signálu sú ideálne, pretože nie je potrebný externý prevod. Tieto dôvody rozhodli o použití snímača Lorenz D-2268. Jeho základné parametre sú uvedené v tabuľke. Kompletná špecifikácia v prílohe.

Tab. 1: Hlavné parametre Lorenz D-2268

Nominálny krútiaci moment	$\pm 100 \text{ N.m}$
Vstupné napätie	2..12 VDC
Trieda presnosti	0,1 % z rozsahu
Citlivosť	1 mV/V



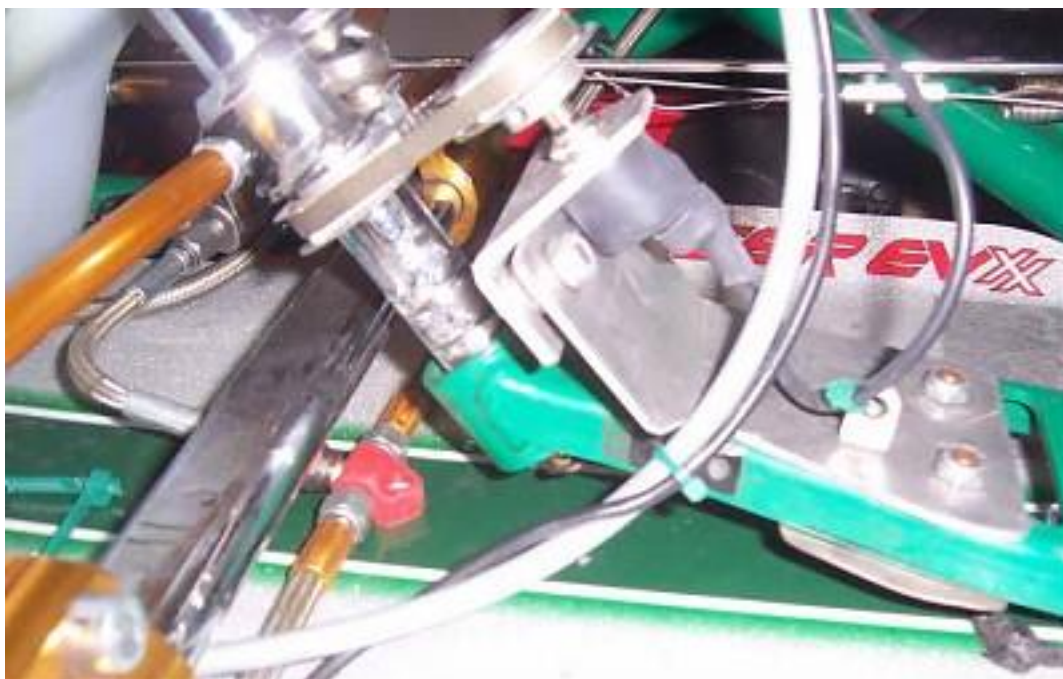
Obr. 24: Reakčný momentový snímač Lorenz D-2268 [22]

3.3 SNÍMAČ POLOHY

Jeho časté použitie je v závodných vozidlách. Je to jednoduché a lacné riešenie, ako zaznamenať smer a spôsob jazdy, spolu s GPS a akcelerometrom. Používajú sa inkrementálne potenciometrické snímače s remenicami, alebo lankové snímače, kde sa lanko natáča na tyč riadenia. Ich presnosť je nízka, ale pre tieto potreby postačujúca.



Obr. 25: Základná sada pre snímanie polohy volantu [23]



Obr. 26: Polohový snímač na tyči riadenia motokáry[24]



Obr. 27: Zapojenie tiahlového snímača polohy v závodnom vozidle [25]

Bolo požadované, aby mnou použitý snímač bol absolútny a viacotáčkový, ktorý by pokryl celý možný rozsah natočenia volantu bežného osobného vozidla. To znamená minimálne 5 otáčok, ktoré by bolo možné jednoznačne identifikovať. Tomuto zadaniu presne vyhovoval výrobok firmy Pepperl – Fuchs, potenciometrický typ UVM36M-03SK1R02N-0412, ktorý bol bezplatne poskytnutý touto firmou na školské účely. Bol zvolený radiálny výstup vodiča. Vyznačuje sa vysokou presnosťou, skvelými rozmermi a napäťovým výstupom. Hlavné parametre sú uvedené v tabuľke. Kompletná špecifikácia v prílohe.

Tab. 2: Hlavné parametre Pepperl-Fuchs UVM36M

Celkový merací rozsah	16 x 360°
Rozlíšenie	12 bit / 360°
Chyba linearity	≤ 0,15 % rozsahu
Vstupné napätie	12..30 VDC
Spotreba	15 mA

Inou variantou je použitie prstencového magnetického snímača. Prstenec by bol cez adaptéru spojený so snímačom krútiaceho momentu a čítacia hlava uložená na ložisku by zabezpečila bezkontaktný prenos signálu. Toto by umožnilo vynechanie mechanického prenosu otáčania a tým by sa zvýšila presnosť merania, znížili rozmery, zjednodušila zostava. Nevyhovujúca je zvyčajná absolútna jednootáčková charakteristika.

3.4 MERACÍ SYSTÉM

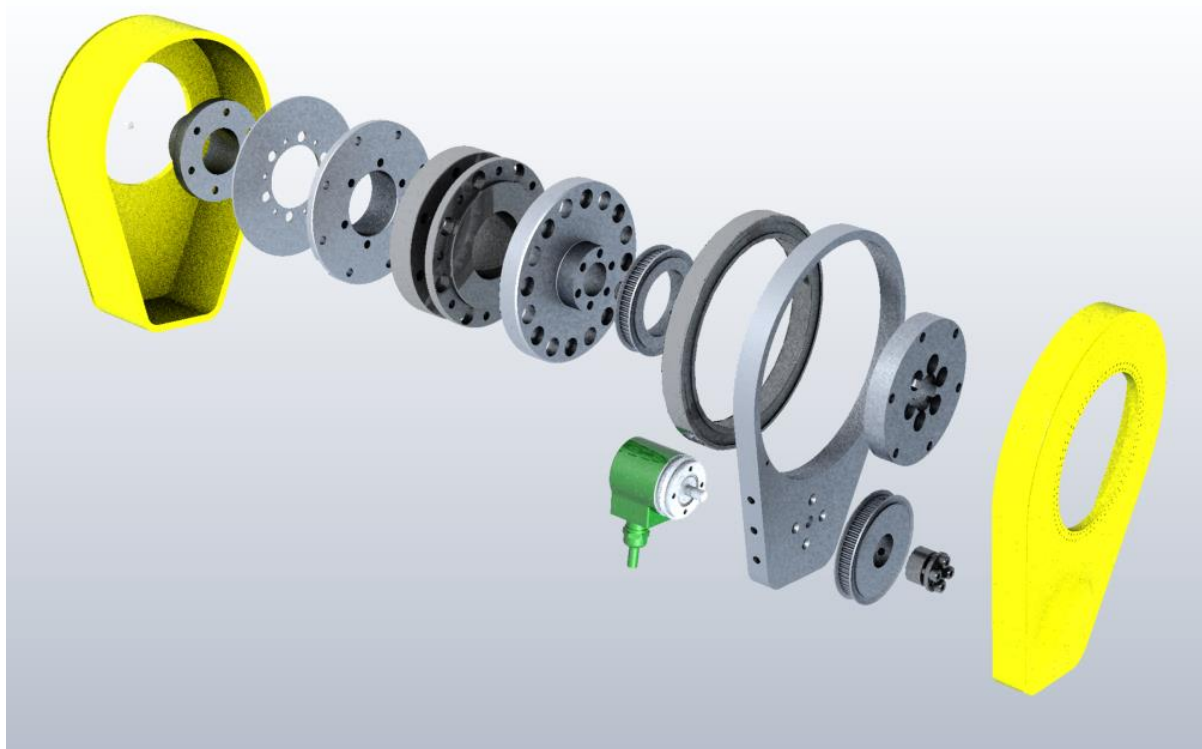
Ústav automobilního a dopravního inženýrství disponuje modulárnym meracím systémom imc CRONOSflex DCB 8 schopným merať napätie, prúd, teplotu a pracovať s tenzometrami aj v mostíkovom zapojení. Tomu bola podriadená aj kompatibilita výstupného signálu snímačov. Obsahuje zosilňovač, nastaviteľný filter pre každý kanál, simultánny A/D prevodník. Napájanie externých snímačov je regulovateľné cez software. Maximálna vzorkovacia frekvencia je 100 kHz a maximálna šírka pásma 48 kHz. Kompletná špecifikácia v prílohe.



Obr. 28: Kompletný merací systém imc Cronosflex [28]

4 KONŠTRUKČNÝ NÁVRH MSW Evo 3

Táto kapitola pojednáva o hľadaní a popise optimálneho riešenia jednotlivých častí zariadenia MSW Evo 3. Pre 3D modelovanie, rendering a tvorbu výkresovej dokumentácie bol použitý software PTC Creo Parametric 3.0. Boli použité konfiguračné súbory vytvorené pre potreby ústavu, Config_UADI. Pri renderingu modelov bolo použité nastavenie kvality na úroveň High a exportoval som do .tiff.



Obr. 29: Rozložený pohľad MSW Evo 3

4.1 SPÔSOB POHONU SNÍMAČA POLOHY

Vychádzal som z prevedenia komerčných MSW. Ak je enkodér uložený excentricky, je možné použiť tri druhy prepojenia: zubové, reťazové a remeňové. Charakter pohybu do oboch smerov si vyžadoval také spojenie, aby aj pri zmene rotácie boli do merania vnesené čo najnižšie straty. Zároveň bolo treba dodržať maximálnu axiálnu zaťažiteľnosť hriadeľa enkodéru. Reťazové prepojenie tieto požiadavky nespĺňa. Zubové prepojenie by bolo ideálne v prípade jediného zmyslu rotácie – odpadlo by axiálne zaťaženie hriadeľa a zuby by zostali v stálom kontakte.

Pre dosiahnutie vysokej presnosti polohovania pomocou remení s remeňom bol po konzultácii s technikom firmy Misumi zvolený typ PowerGrip GT3, ktorý má vďaka špeciálnemu profilu kontaktnej plochy lepšie vlastnosti ako časovacie remene. Vysoký počet

zubov v zábere ďalej zlepšuje presnosť. Bol použitý gumový remeň dĺžky 363 mm, šírky 6 mm, so vzdialenosťou zubov 3 mm.



Obr. 30: Detail pohonu snímača

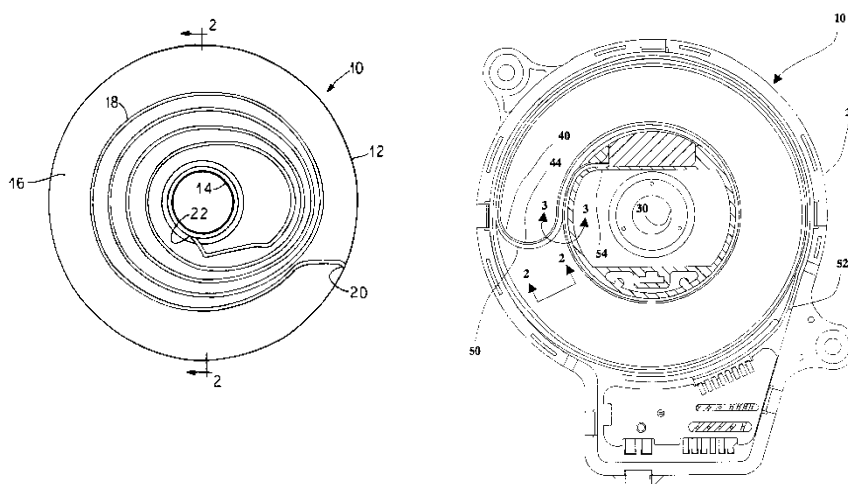
Hliníkové remenice majú zvýšené okraje. Osová vzdialenosť pri zhodnom počte zubov $z = 60$ a priemere 57,3 mm je 91,5 mm. Zladenie komponentov bolo overené v programe firmy Gates, DesignFlex Pro. Po zadaní parametrov použitých remeníc a približnom stanovení osovej vzdialenosti bol zvolený doporučovaný príslušný remeň z katalógu. Produkty Gates a Misumi sú rozmerovo zhodné a zameniteľné. Uloženie centrálnej remenice je poistené troma poistnými šróbami. Remenica enkodéru je uložená na svornom adaptéry, ktorý bolo nutné použiť pre hriadeľ s priemerom 6 mm. Zo širokej ponuky Misumi bolo možné po menších úpravách nosných dielov použiť zhodné remenice, čo prinieslo prevodový pomer 1:1 a tak odpadla potreba prepočtu uhlu natočenia.

4.2 SPÔSOB PRENOSU SIGNÁLU A NAPÁJANIE SNÍMAČA KRÚTIACEHO MOMENTU

Použitý reakčný snímač momentu nie je určený pre pohyblivé aplikácie. Používa sa na statické pripojenie telies, ktoré majú rotujúce časti, napr. motorov, k skúšobným stoliciam a sníma moment, ktorý produkujú pohyblivé časti. K tomu je prispôsobený aj výstup napájania. Konektor je na vonkajšom obvode tela. V prípade, že by bol meraný len moment, s obmedzením by sa dal použiť vodič kruhového prierezu, ktorý by sa natáčal na stĺpik riadenia.

Pre rotujúcu aplikáciu na tyči riadenia bolo nutné vytvoriť systém prenosu, ktorý by fungoval v celom rozsahu natočenia volantu a zároveň bol vhodný na zapuzdrenie. Vo vozidlách sa pre napájanie tlačidiel volantu používa plochý kábel FFC (flexible flat cable) navinutý na hriadeľ.

Existujú dve verzie: 120 mikrónový kábel je navinutý špirálovo (typ long-band), alebo je polovica navinutá jedným smerom, spravený prehyb a druhá polovica navinutá druhým smerom (loop-back). Takto sa dá dosiahnuť rovnaký rozsah otočení pri polovičnej dĺžke vodiča, ale musí byť použitý FFC kábel max. hrúbky 35 mikrónov, ktorý má ideálne pružné vlastnosti. Prekladaný spôsob natočenia je veľmi náročný na konštrukciu a závislý na adekvátnom zapuzdrení, ktoré je možné dosiahnuť pri sériovej výrobe.



Obr.31: Long-band a loop-back vinutie v OEM kabeláži [29]

Špirálové vinutie by malo byť uložené na úzkej hriadeli. Od jej priemeru a počtu navinutí závisí, na aký priemer sa vodič vo fáze plného rozvinutia dostane.

Dĺžka, počet navinutí a konečný priemer rolky kábla sa dá vypočítať buď presnou, integračnou metódou s použitím polárnych súradníc, alebo zjednodušene za predpokladu, že špirálu považujeme za sériu sústredných kružníc. To je možné vtedy, keď je hrúbka h kábla zanedbateľná v porovnaní s vnútorným priemerom D_0 . Vonkajší priemer označíme D_1 , dĺžku L a počet navinutí N .

$$N = \frac{D_1 - D_0}{2h} \quad (4)$$

Obvod prvého vinutia je πD_0 , druhého $\pi(D_0 + 2h)$, tretieho $\pi(D_0 + 4h)$ a tak ďalej až po N -té vinutie, ktorého obvod je rovný $\pi(D_0 + 2(N-1)h)$. Celková dĺžka je tým pádom:

$$L = \pi D_0 + \pi(D_0 + 2h) + \pi(D_0 + 4h) + \dots + \pi(D_0 + 2(N-1)h) \quad (5)$$

Po úprave získame:

$$L = \pi(D_0 + D_0 + 2h + D_0 + 4h + \dots + D_0 + 2(N-1)h)$$

$$L = \pi(ND_0 + 2h(1 + 2 + \dots + (N-1)))$$



Tento rozvoj sa dá zjednodušiť vyjadriť pomocou Gaussovej formuly:

$$L = \pi N(D_0 + h(N - 1))$$

V prípade, že chceme reverznou operáciou vypočítať D_1 v závislosti na L , spočítame kvadratickú rovnicu:

$$N = \frac{h - D_0 + \sqrt{(D_0 - h)^2 + \frac{4hL}{\pi}}}{2h} \quad (6)$$

Kvadratické rovnice majú zvyčajne dve riešenia (\pm), nám postačí kladné riešenie, keďže záporné riešenie znamená opačné vinutie.

Potom pre D_1 platí:

$$D_1 = D_0 + 2Nh \quad (7)$$

Výsledky výpočtov sú uvedené v tabuľke. Podmienkou bolo minimálny počet vinutí 6.

Tab.3: Výsledky výpočtov

L [m]	D ₀ [mm]	D ₁ [mm]	N [-]
2,5	60	65	12,8
	95	98	8,3
5	60	70	24,6
	95	101	16,3
10	60	78	46,1
	95	108	31,5

Jednoduchým pokusom bola overená minimálna a optimálna dĺžka kábla. Kábel dĺžky 10 m bol natesno navinutý na kotúč s $D = 95$ mm. Pridržaním voľného konca a otáčaním bolo simulované otáčanie volantu medzi krajnými polohami v rozmedzí $6 \times 360^\circ$. Následne bol zameraný priestor potrebný pre dané rozvinutie, s výsledkom $D = 115$ mm, pri počte vinutí 31. Pokus som zopakoval pre kotúč s $D = 60$ mm. Tu je potrebný priestor s $D = 82$ mm. Zmena dĺžky vodiča na 2,5 m vyžadovala len 14 navinutí a konečný priemer bol $D = 100$ mm. Tým sa overila správnosť výpočtov.

Vznikajú dve možnosti: zachovať rozmery medzikružia 60 – 100 mm určené rozmermi vyrobených dielov a použiť dlhší vodič, alebo uložiť kratší vodič medzi dva kotúče, ktoré by

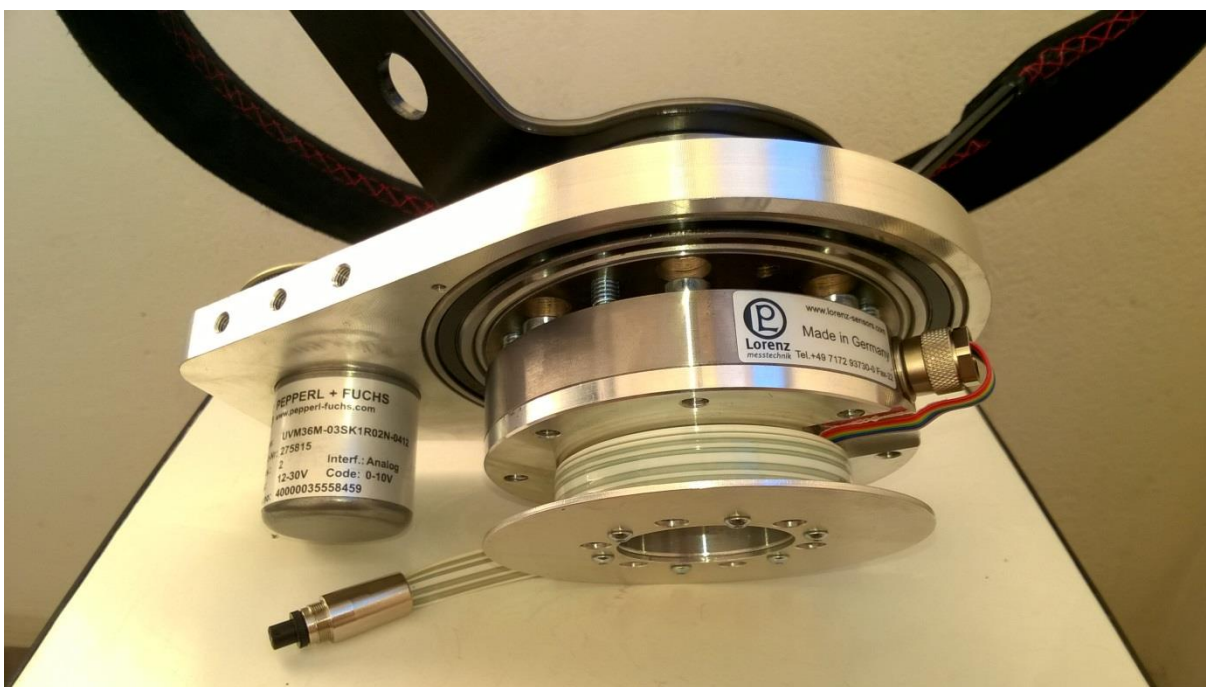
zvýšili hrany uloženia na max. 125 mm. Určite je výhodne použiť druhý variant, pretože s dĺžkou vodiča rastú aj vnútorné odpory, ktoré by mohli mať zlý vplyv na signál.

Použitý bol kábel Sumida FFC-B12-PXX-002, jeho vzorku nemecké zastúpenie fy. Sumida bezplatne poskytlo pre tento projekt. Je nemožné objednať množstvo menšie ako 500 m a preto by som chcel vyzdvihnúť ochotu a ústretové jednanie zastúpenia firmy dodať 10 m.

Existuje ešte alternatívna možnosť zdroja FFC kábla, a to jeho demontážou z iného vozidla. Bežne sa jedná o dĺžku 4 až 5 m, s rôznym počtom vodičov. Skúsenosť je taká, že staršie káble boli skorodované pod izolačnou vrstvou a pravdepodobne by nemali dlhú životnosť.

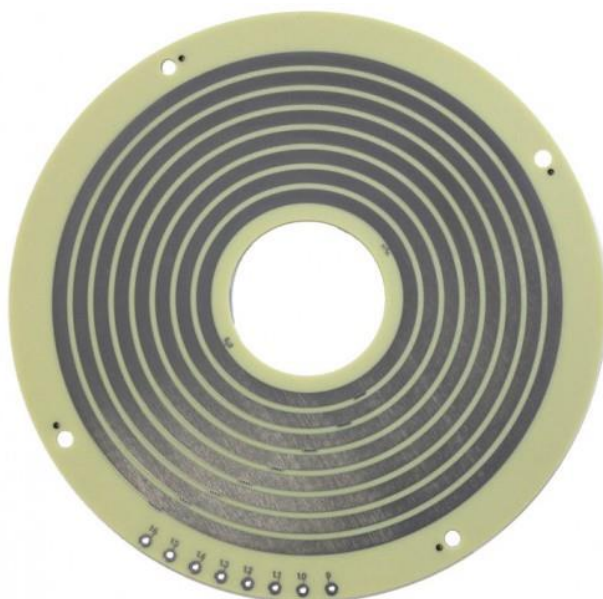


Obr. 32:Príklad kompaktnosti 10 m FFC káblu



Obr. 33: Detail zapojenia momentového snímača

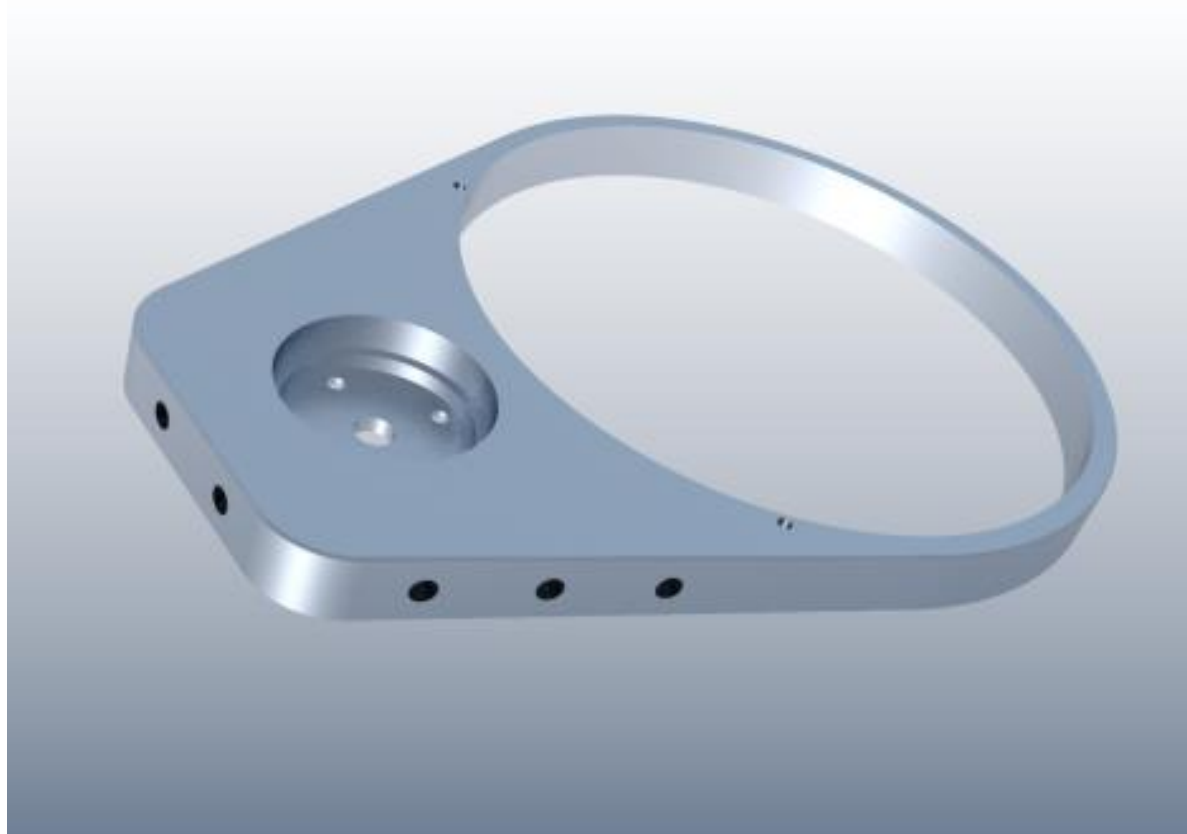
Pri návrhu prenosovej sústavy som sa pokúšal aj o využitie technológie slip ring, teda zberacích kotúčov. Americký výrobca Sibley dodáva riešenia na mieru podľa počtu vedení, rozmerov apod. Po preskúmaní tohto spôsobu som od neho upustil, pretože je náchylný na vnášanie šumu do signálu a má zníženú životnosť. Tým, že by to bol výrobok na mieru, bolo by veľmi nákladné zabezpečiť náhradu.



Obr. 34: Zberací kotúč

4.3 ZÁKLADŇA

Základňa je dôležitým prvkom MSW. Jej hlavnou úlohou je, že nesie polohový snímač a zabezpečuje jeho funkčnú polohu v každej situácii. Snímač je zahĺbený, aby nebola zbytočné skrátaná funkčná plocha jeho hriadeľa. Aby sa zamedzilo rotácii snímača okolo osi riadenia, po obvode sú predvŕtané závitové diery M5, ktoré umožnia prepojenie základne a prístrojového panelu. Ďalej nesie predný a zadný kryt. Bola vyrobená z plechu hrúbky 15 mm a opracovaná na 13 mm, čo je šírka ložiska. Prepojenie základne s MSW je vytvorené cez vložené ložisko 6821 2RS, do ktorého je vložený nákrúžok momentového snímača. Na spojovacie plochy bolo aplikované ložiskové lepidlo Loctite 603. Na dodatočné zamedzenie jeho pohybu držia ložisko 4 šróby M3 .

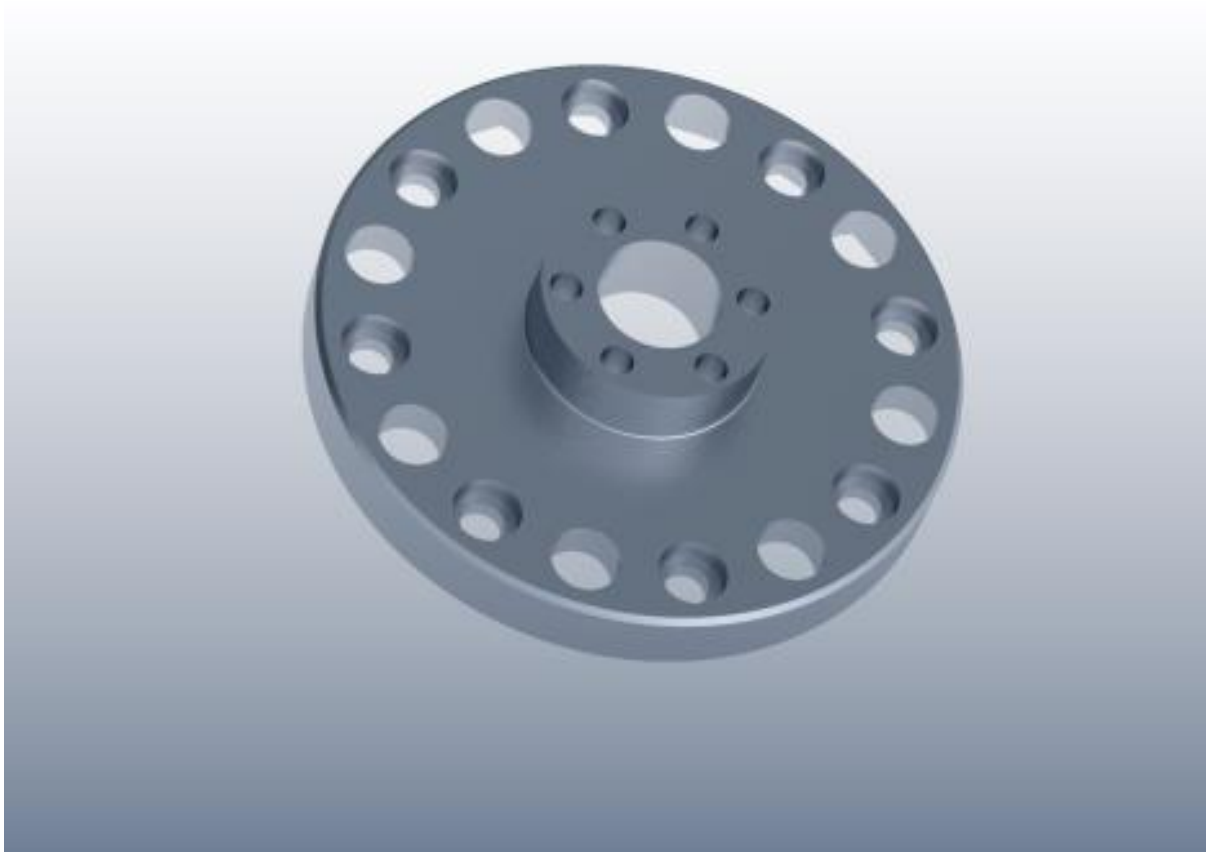


Obr. 35: Základňa



4.4 NÁKRUŽOK

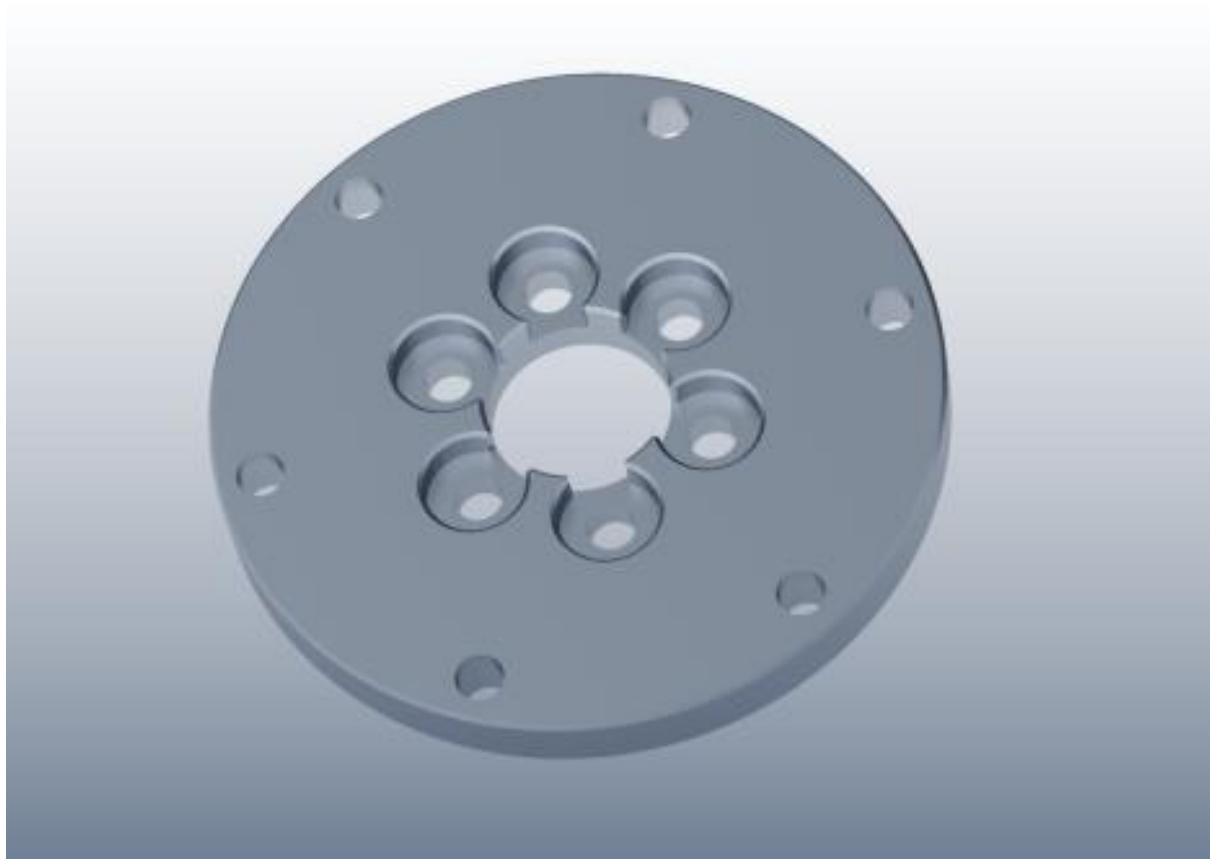
Momentový snímač je čiastočne vložený do nákrúžku a upevnený 8 x M6. Nákrúžok okrem ložiska ešte nesie jednu z remení, ktorá je poistená šróbami proti pohybu a pretočeniu. Nosná plocha je mierne širšia, pre dodatočnú možnosť korekcie vzájomnej polohy remení. 8 priechodných dier s priemerom 11 mm umožňuje prístup k hlavám šróbov na snímači. 6 dier M6 prepája nákrúžok s adaptérom volantu.



Obr. 36: Nákrúžok

4.5 ADAPTÉR VOLANTU

Tento diel umožnil použitie danej remenice na nákrúžku bez potreby dodatočného prevŕtavania, v kombinácii so športovým volantom. Je uchytený na šiestich maticiach M6 so zníženou valcovou hlavou.



Obr. 37: Adaptér volantu

4.6 VOLANT

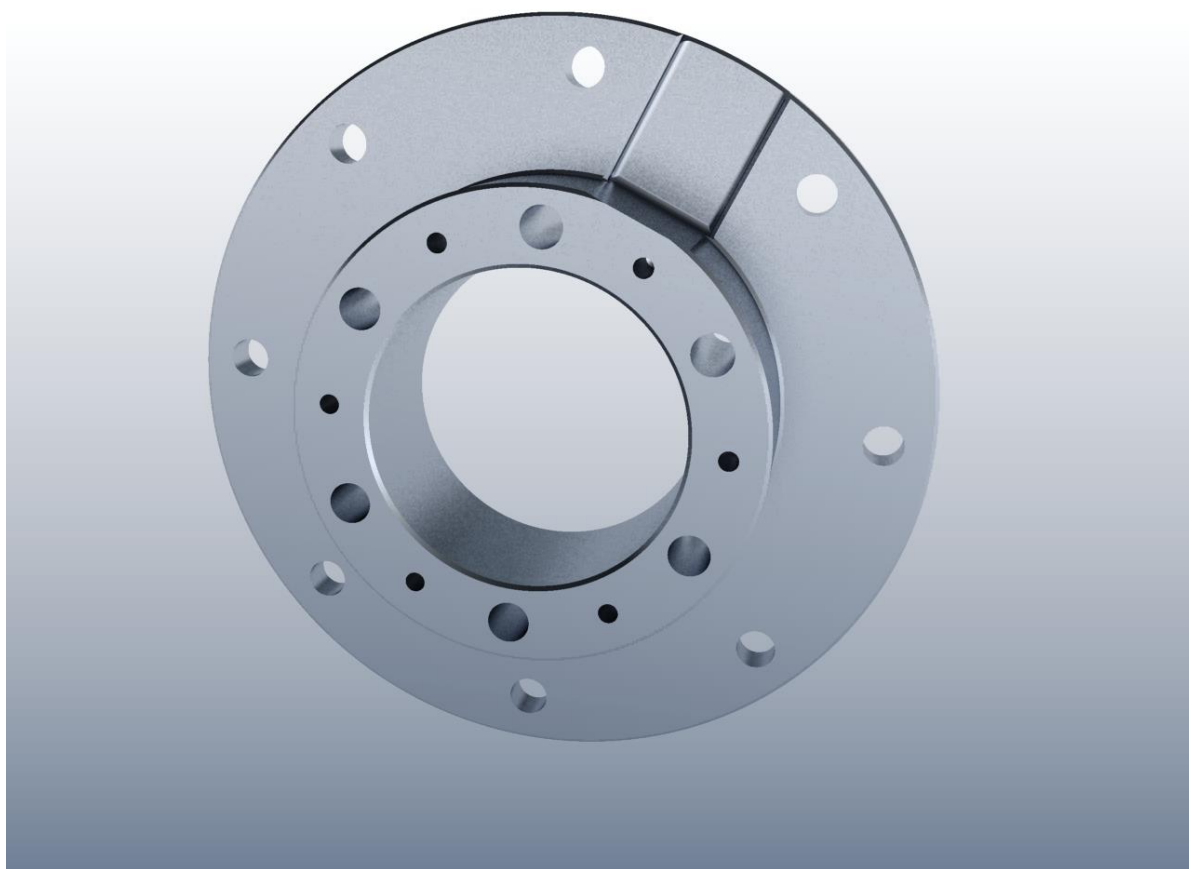
Bol zvolený jednoduchý športový volant RRS Rally s priemerom 350 mm a hĺbkou 90 mm. Tá bola zvolená tak, aby zostal zachovaný dostatočný voľný priestor medzi čelným krytom a rukami. Uchytenie je realizované 7 x M6 so zápusťnou hlavou do adaptéru volantu. Cena volantu je 990 Kč.

4.7 PRÍRUBA RIADENIA

Je spojená s momentovým snímačom na strane riadenia cez 8 x M6. Ďalej je spojená s adaptérom tyče riadenia cez 6 x M6. Medzi tieto dva diely je namontovaný kruh z plechu 1,5 mm o priemere 100 mm. Kruh vymedzuje priestor, v ktorom sa bude rozvíjať kábel. Pre prípad výmeny adaptéru riadenia je pripevnený šróbami 6 x M3.

Detaily zapojenia momentového snímača

V časti, kde vystupuje konektor snímača momentu, je do bočnej steny príruby vyfrézované zahĺbenie, ktoré postupuje až k ploche nesúcej kábel. V zahĺbení je vedený krátky kábel, ktorý je presunie výstup snímača nižšie, na priemer 60 mm a tu je pájaným spojom prepojený s FFC káblom. Rovinná plocha v tomto mieste kompenzuje zvýšený profil, ktorý v spoji vznikol a tým zachováva kruhovitosť.



Obr. 38: Príruba riadenia

4.8 KRYT MSW

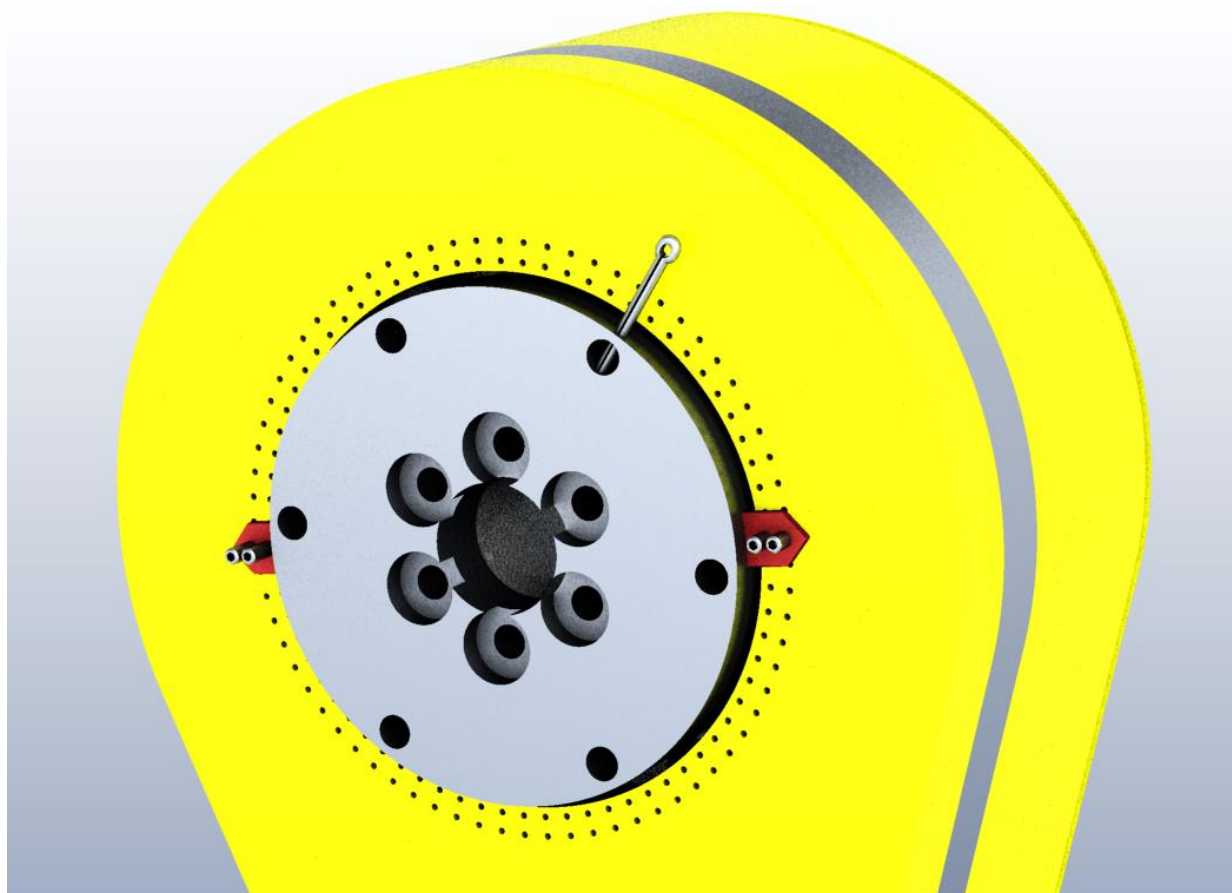
Kryt má funkciu nosiča výstupných konektorov, chráni komponenty pred poškodením, poskytuje prachuvzdornosť a dodáva MSW celistvý vzhľad. Bude vyrábaný formou 3D tlače z ABS plastu. Tento termoplastický polymér je ľahký a dobre pohlcuje vibrácie. Upevnenie bude realizované na hliníkovú základňu. Kryt na strane volantu bude po kružnici prevrtaný dvojicami dier rozmiestnenými po 5° inkrementoch. Budú slúžiť na uchytenie dorazových elementov, vid' nasledujúcu kapitolu. Každá druhá dvojica bude zahrnutá do stupnice s nulou v stredovej polohe volantu.

4.9 NÁVRH SYSTÉMU ARETÁCIE KRAJNÝCH POLÔH

Pre testy, kde je potrebné udržať natočenie volantu v určitom uhlovom rozmedzí bol navrhnutý systém aretácie krajných polôh. V prípade nebezpečenstva musí byť umožnené aretáciu vyradiť z prevádzky okamžite a jednoduchým spôsobom. Skladá sa z dvoch dorazových elementov, ktoré sú nasunuté na kruhovom otvore krytu a upevnené dvojicou šróbov do predvrtaných dier. Pohyblivá časť je tvorená podložkou volantu, kde do radiálnej predvrtanej diery umiestnenej kolmo na stred, bude zasunutý tenký kolík s okom. Na oku bude pridaný látkový pás, ktorý bude voľne visieť. V prípade potreby vodič ľahko nájde tento pás a potiahnutím vyberie kolík z diery. Volant bude znova použiteľný v plnom rozsahu. Tlak na dorazy bude pôsobiť v čelnej rovine krytu a tak by nemalo nastať jeho vylomenie, alebo prasknutie.



Obr. 39: Vymedzovací kolík s výrazným tiahom [26]

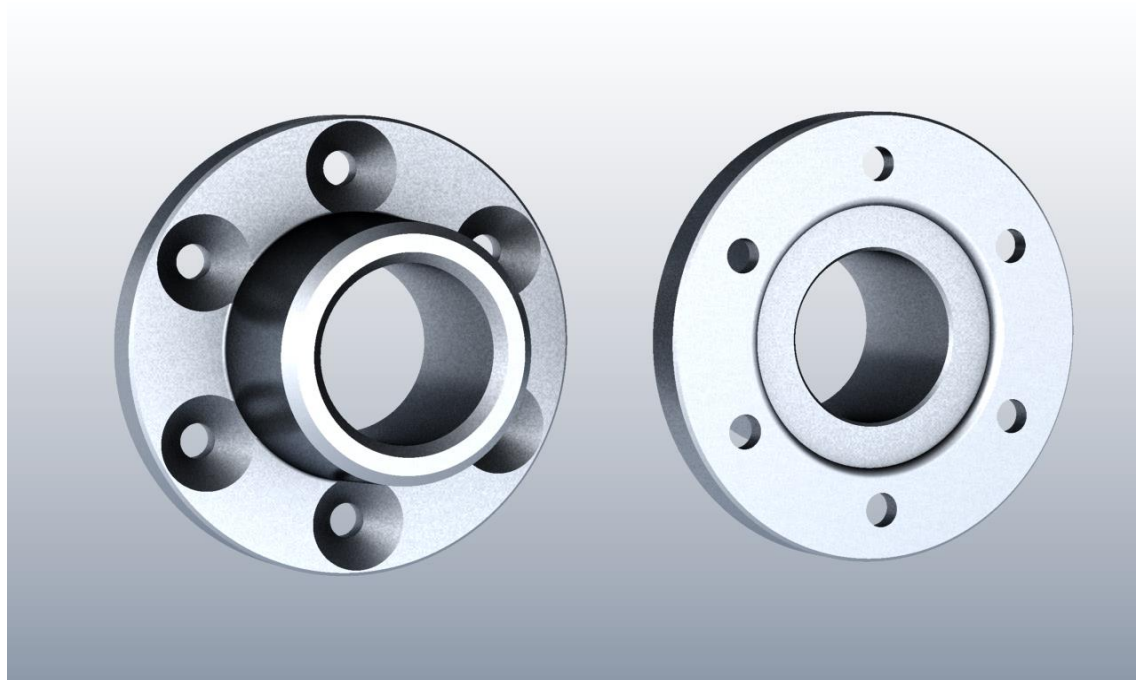


Obr. 40: Detail systému aretácie na prednom kryte MSW

4.10 ADAPTÉR TYČE RIADENIA

Jedným z cieľov diplomovej práce bolo vymyslieť variabilné uchytenie MSW na tyč riadenia rôznych výrobcov. Primárna bola kompatibilita s vozidlami Volkswagen AG, pretože sú k dispozícii ako testovacie vozidlá.

Žiadaný tvar adaptéru je možné vyrobiť tak, že na základe tvaru protikusu, čiže konca tyče riadenia je drôtovým elektrkoerozívnym obrábaním vytvorený vnútorný profil zubov. S cieľom úspory nákladov a možnej nepresnosti výroby bolo použité alternatívne riešenie. Adaptér vznikne vyrezaním stredovej časti odliatku volantu z vozidla Škoda. Nasledovať bude opracovanie a navŕtanie dier pre spojenie s prírubou riadenia pomocou šróbov M6 so zápusťou hlavou. Na zaistenie k tyči riadenia bude možné použiť originálny stredový šrób M18 x 18 x 1,5



Obr. 41: Adaptér tyče riadenia



Obr.42: Detail uchytenia OEM volantu VW []



4.11 SPOJOVACÍ MATERIÁL

Celý sortiment spojovacieho materiálu bol zvolený z katalógu Fabory. Bola zvolená bežná pozinková povrchová úprava a pevnosť 10.9. Celková cena nákupu bola 195 Kč.

Tab. 3: Spojovací materiál

Označenie [mm]	Stúpanie	Typ hlavy	Norma	Množstvo
M3x8-10.9	0,5	polguľová inbus	ISO 7380	10
M3x10-10.9	0,5	zápustná inbus	DIN 7991	4
M6x10-10.9	1	zápustná inbus	DIN 7991	6
M6x20-10.9	1	zápustná inbus	DIN 7991	6
M6x20-10.9	1	valcová nízka	DIN 7984	8
M6x16-10.9	1	valcová nízka	DIN 7984	6
M6x20-10.9	1	valcová	DIN 912	8

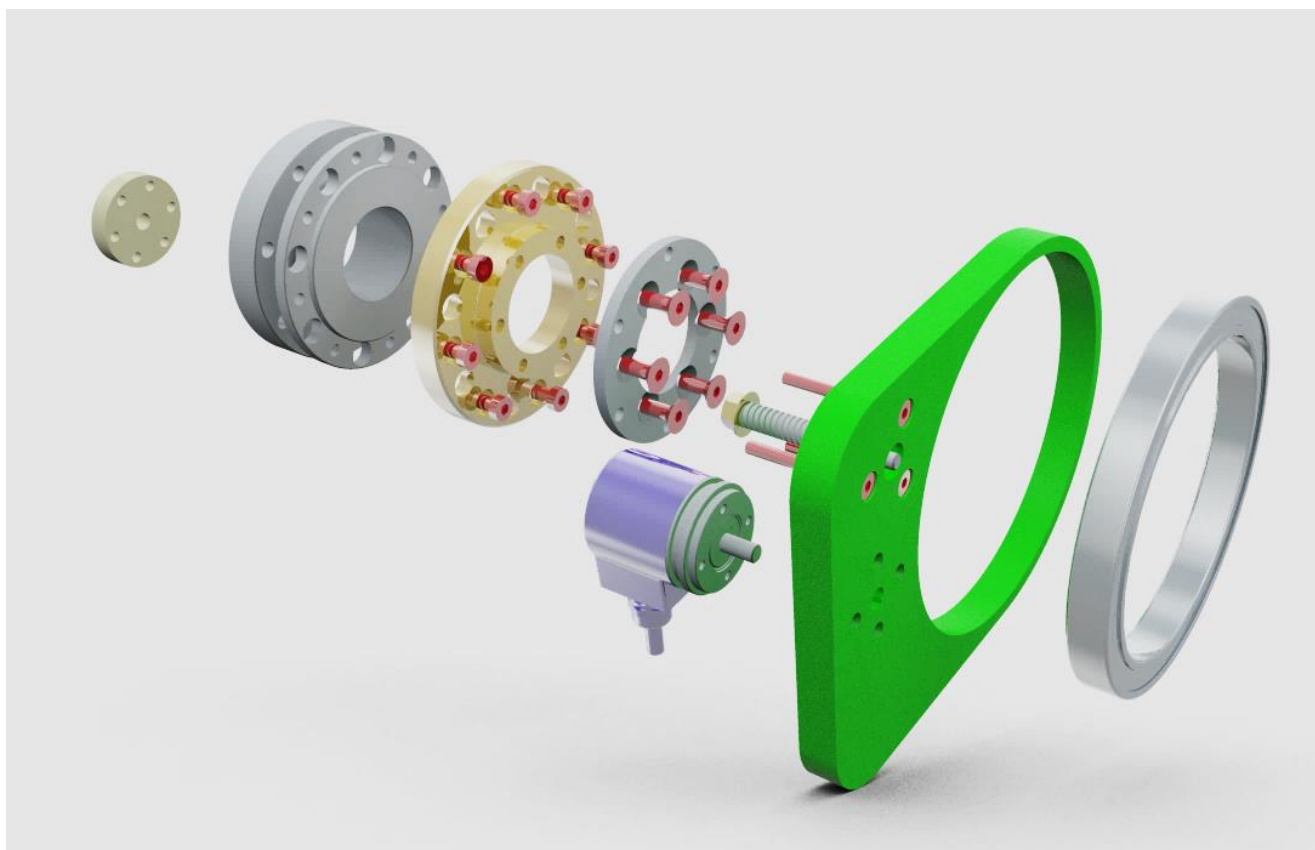
5 ALTERNATÍVNE RIEŠENIA

5.1 MSW Evo 1

Prvotný návrh poskytol základ pre finálnu verziu. Na základni je pridaný mechanizmus s trapézovým šróbom, ktorý by bol otáčaný remenicou. Pri dosiahnutí krajných polôh natočenia by zamedzil poškodeniu vnútorných častí a odtrhnutiu kábla.

Pri daných rozmerov komponentov nastal problém s dostupnou veľkosťou remeníc. Centrálna by sa dala osadiť jedine po prevrtaní na väčší vnútorný priemer a musela by byť použitý remeň min. šírky 9 mm, čo zbytočne pridáva na celkovej veľkosti mechanizmu. Prepojenie troch remeníc by malo vplyv na záber zubov a spolu so zmenou v sprevodovaní vnášalo chybu do merania.

Po konzultácii s výrobcou tlačených 3D komponentov bola vylúčená výroba základne z ABS plastu. Nie je možné zachovať absolútnu presnosť rozmerov z dôvodu zmien pri tuhnutí plastu. Vzájomná vzdialenosť stredov otáčania remeníc je zásadná pre presnosť.



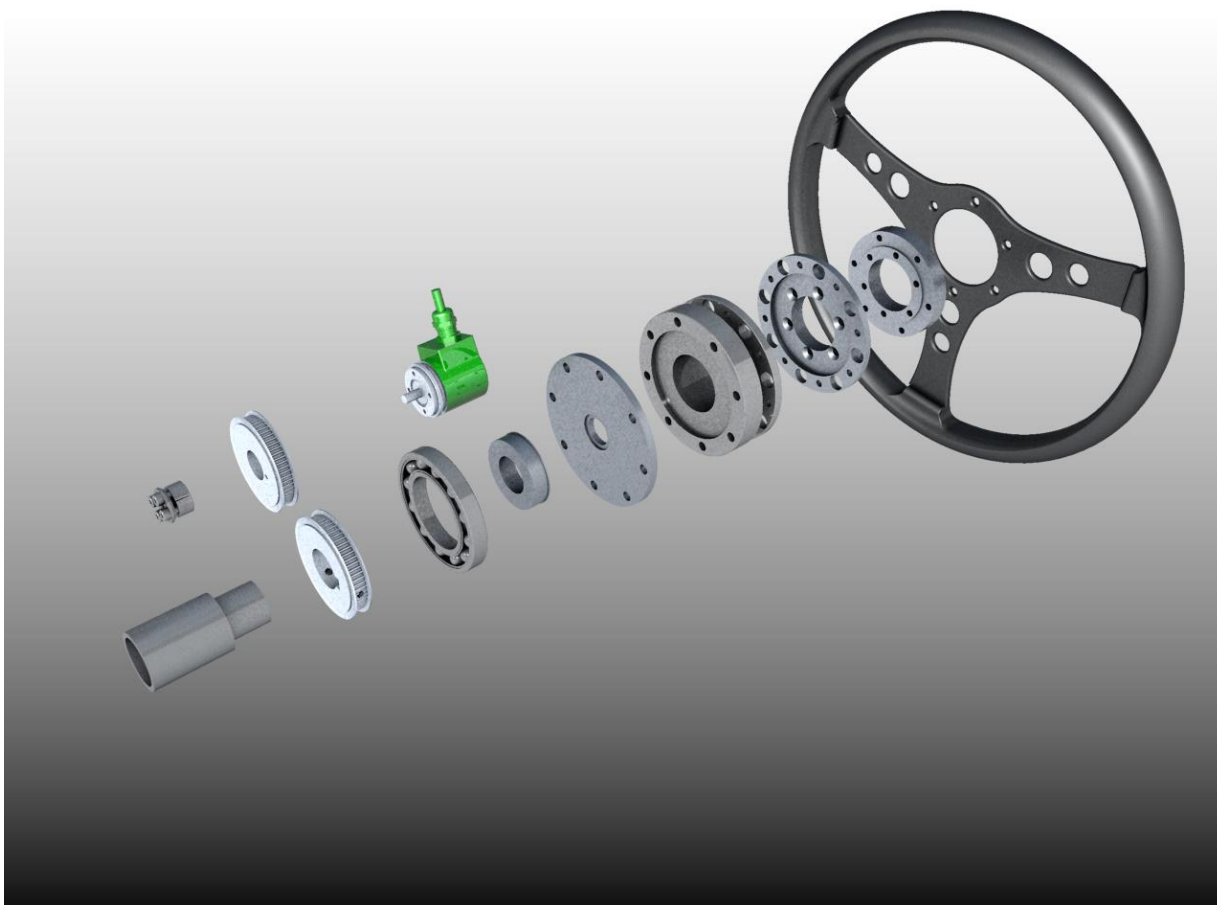
Obr. 44: Rozložený stav MSW Evo 1

5.2 MSW Evo 2

V tomto prípade som sa pokúsil o zmenu prístupu k riešeniu problému. Predĺžená hriadeľ adaptéru tyče riadenia by zároveň fungovala ako hlavný nosný člen. Ako prvá je nasadená centrálna remenica a nosný prstenec s nalisovaným ložiskom. Na ložisku by bola nalisovaná základňa z hliníkového plechu, ktorá by niesla aj polohový snímač. Nasleduje príruha spojená s momentovým snímačom. Jej stredom by bol vedený šrób M18, ktorý by pokračoval cez celú hriadeľ a bol by uchytený do tyče riadenia, čím by zaistil všetky spomenuté diely. Na druhej strane momentového snímača je príruha s adaptérom pre volant. Kábel môže byť uložený medzi prírubou a adaptérom podobným spôsobom, ako u Evo 3. Diely nasunuté na hriadeli by museli byť axiálne prevrtané a zaistené rozperným kolíkom. Použitie spoja pero – drážka je nevhodné z dôvodu vôle v ňom.

Výhody sú modularita, jednoduchá výroba alternatívneho adaptéru, nízka hmotnosť, možnosť pridania opernej rolly pre axiálne odľahčenie hriadeľa snímača.

Nevýhody sú v spôsobe výmeny adaptéru, kedy je nutné demontovať remeň, čo sa ukázalo pri skladaní finálnej verzie Evo 3, náročnejšia a drahšia výroba presných dielov a ich zvýšená záťaž v použití.



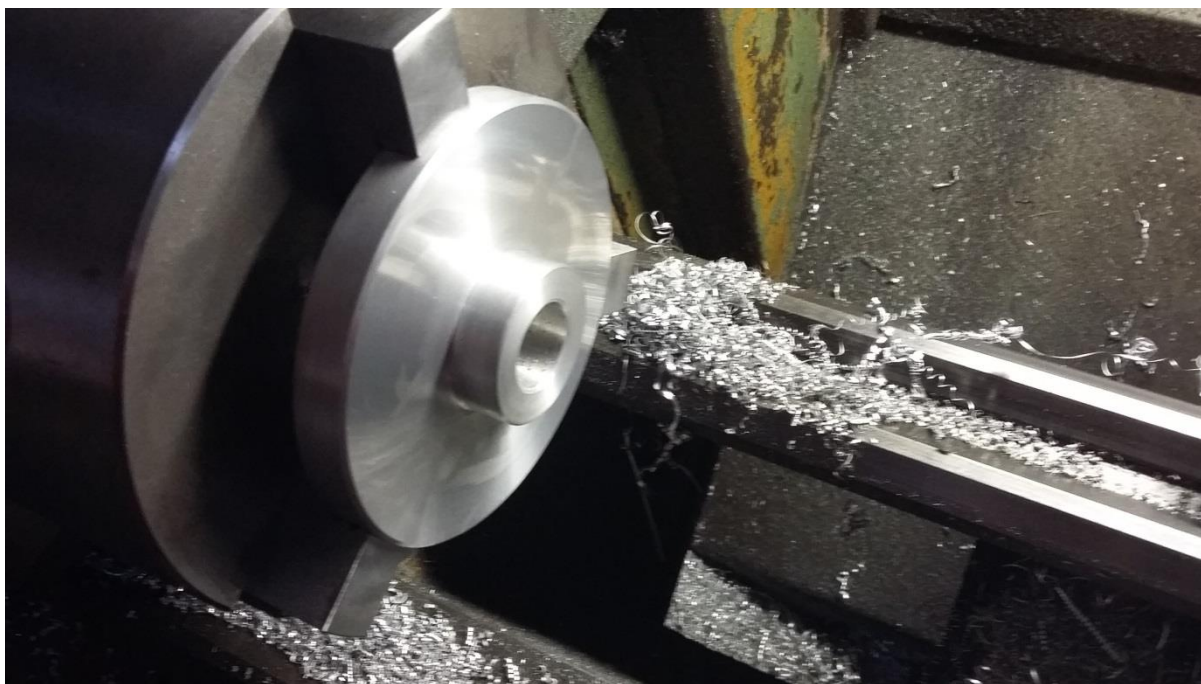
Obr.45: Rozložený stav MSW Evo 2

6 DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY

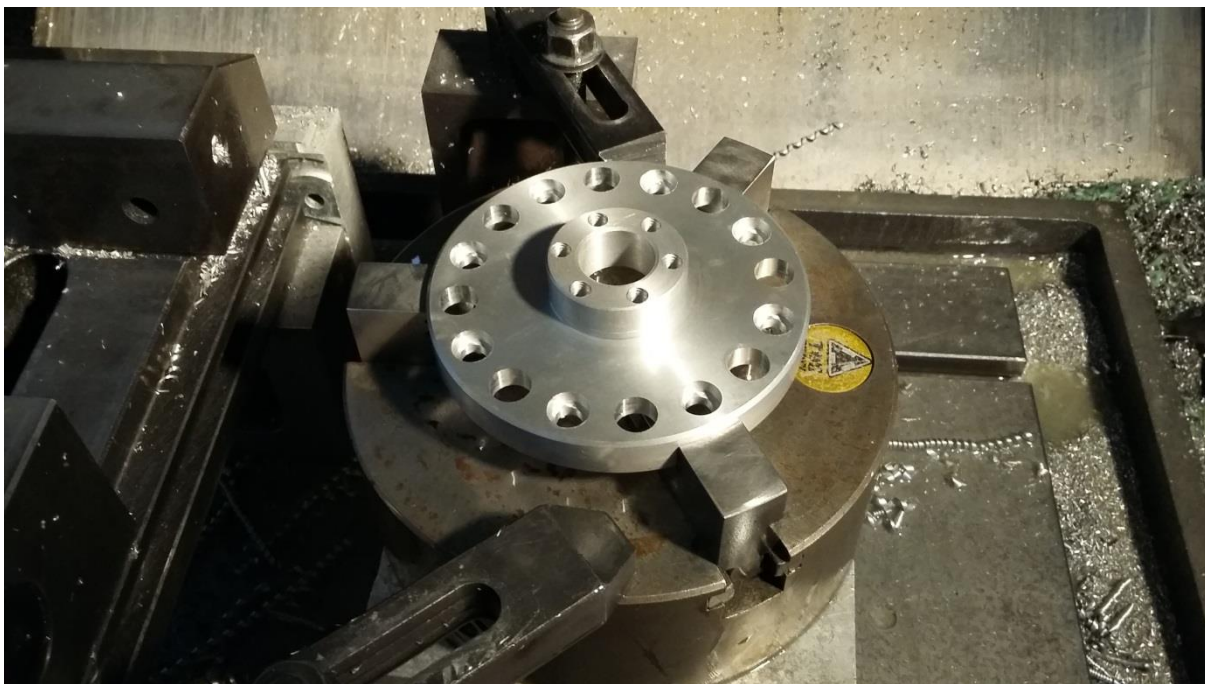
6.1 VÝROBA MSW

Na nasledujúcich fotografiách je dokumentácia z procesu výroby jednotlivých dielov. Výroba prebiehala u firmy Cawedog – Ondřej Brenkus. Najväčšie zastúpenie má sústruženie z guľatiny a vŕtanie dier. Určité detaily technológie výroby boli poupravené a doladené osobne po dohovore s výrobcom. To prispelo k efektívnej práci a urýchleniu celého procesu. Na priebeh výroby som priebežne dohliadal pri niekoľkých návštevách v dielni.

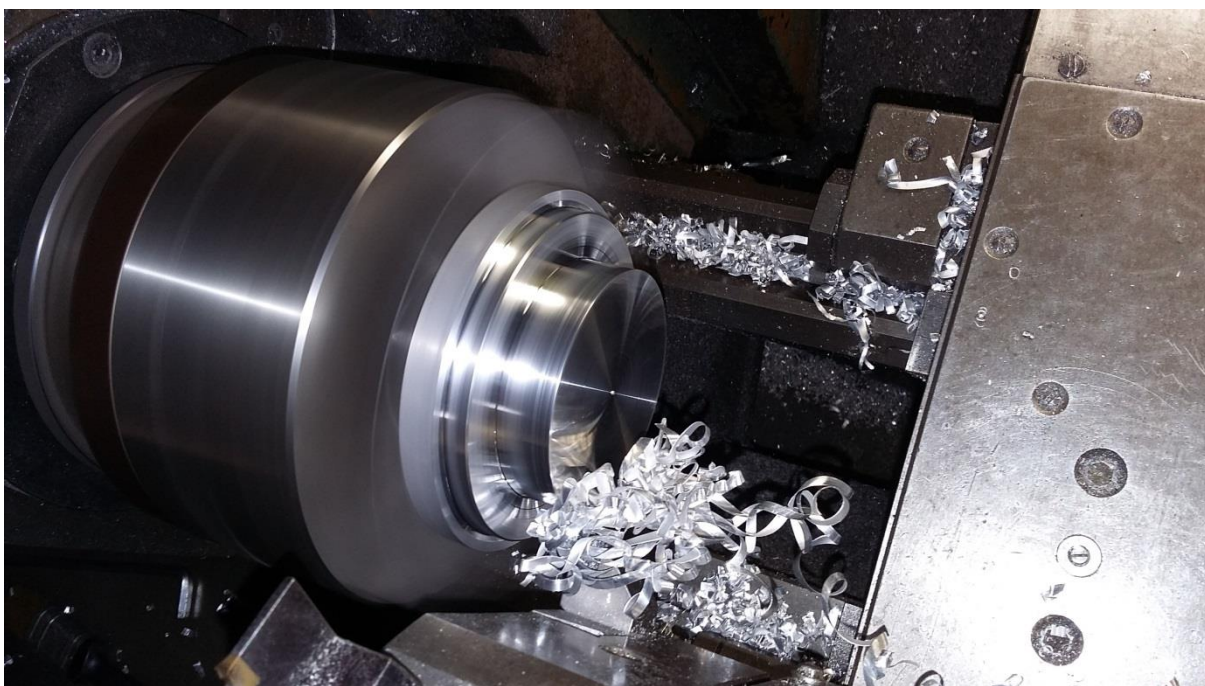
Napriek tomu sa vyskytlo niekoľko detailov, ktoré bolo potrebné dodatočne upraviť. S takou možnosťou sa počítalo a tak nebola skompromitovaná žiadna plánovaná vlastnosť dielov. Bolo potrebné prevŕtať diery na volante RRS, pretože sa počítalo s veľkosťou šróbov M6 a tento výrobca používa M5. Ďalej jeden zo šróbov M3 musel byť skrátený pre poškodený závit.



Obr. 46: Prvá fáza sústruženia nákrúžku



Obr.47: Vrtanie obvodových dier



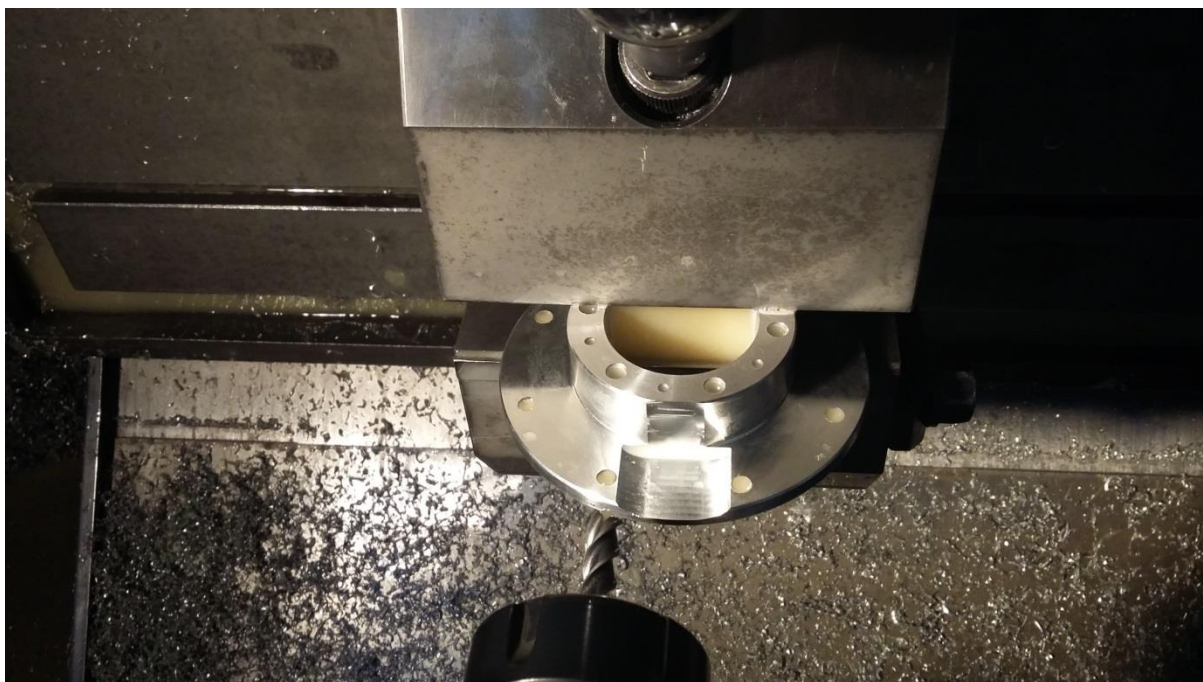
Obr. 48: Sústruženie základného tvaru dielu príruha



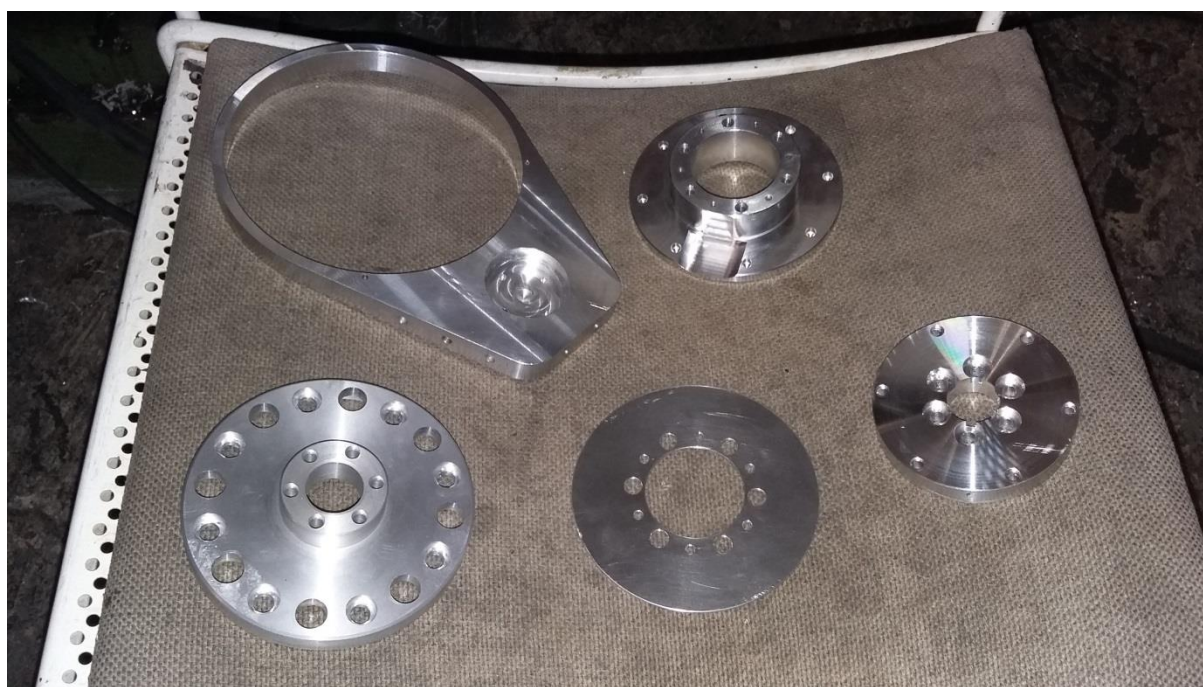
Obr. 49: Sústruženie stredového otvoru príruby



Obr. 50: Rezanie závitov



Obr. 51: Frézovanie zahlbenia pre vedenie káblu



Obr. 52: Komponenty pred zostavením

6.2 ZOSTAVENIE MSW

Zostavenie dielov prebehlo vo výrobe. Ako prvé sa uložilo ložisko s nákrúžkom. Pre zosilnenie spoja bolo aplikované lepidlo na kov. Nasledovalo uchytenie momentového snímača do nákrúžku. Na snímač sa nasadili a upevnili ostatné diely.



Obr. 53:MSW Evo 3 v konečnej podobe

Pri nasadzovaní centrálnej remenice sa zistilo, že je vytvorený veľmi tesný spoj. Toto sa vyriešilo jej nahriatím a nasadením do finálnej polohy a zaistením poistnými šróbami.

Remenica snímača polohy je uložená na adaptéry. Po zložení bolo treba dotiahnuť šróby rozperného mechanizmu a dvojicu radiálnych poistných šróbov.

Remeň má po nasadení primerané predpätie, čím je zaručená presnosť a správna funkcia.

Nakoniec bol nasadený volant.

Pri teste pohyblivých častí som zistil, že pohyb v ložisku má mierny odpor. Predpokladám, že tento vplyv je však minimálny a prisudzujem to použitému mazivu v ložisku, keďže má limit dynamického zaťaženia 19 800 N. V celkovej zostave chýbajú predný a zadný kryt a adaptér tyče riadenia. Tieto diely sa nepodarilo vyrobiť resp. dokončiť do termínu odovzdania diplomovej práce.



Obr. 54: MSW Evo 3 – alternatívny pohľad

6.3 MONTÁŽ A DEMONTÁŽ MSW

Pre chýbajúci adaptér riadenia nebolo možné zdokumentovať montáž MSW do automobilu. Podstatné pripomienky je však možné vysloviť aj napriek tomuto faktu.

Z dôvodu malého otvoru zo strany vodiča je potrebné (konkrétne v prípade aplikácie do vozidla VW) ako prvé nasadiť demontovaný adaptér na tyč riadenia a jeho stredový šrób dotiahnuť a následne k nemu pripevniť celé MSW a utiahnuť pomocou šiestich šróbov. Pri demontáži bude dostačujúce cez otvor stredový šrób uvoľniť a MSW zložiť. Je dobré dbať na súmernosť rysiek na tyči a adaptéry, aby zostala zachovaná mienená poloha volantu pri jazde.

Fixácia základne proti pohybu nemohla byť otestovaná. Na toto sú predpripravené závitové diery na jej hrane vo veľkosti M5. Ich takmer pravouhlá vzájomná poloha môže byť využitá na dvojsose upevnenie. Navrhované spôsoby fixácie sú: podtlakom na skle, ramenom na prístrojovom paneli, krátkym ramenom na plastové puzdro tyče riadenia. Pri teste nesmie nastať rotačný pohyb, lebo má vplyv na informácie o polohe. Natočenie základne môže byť ľubovoľné, zariadenie nijak nezasahuje do ovládania vozidla a priestoru vodiča.

6.4 PRINCÍPY MERANIA

Vytvorenie princípov merania na prototype vyžaduje viacnásobné nasadenie do praxe. Pre potreby zapojenia a charakteristiky zariadení sú k práci priložené technické listy. Podrobné informácie je možné získať na webových stránkach výrobcov, prípadne využitím už nadviazaných kontaktov s technickou podporou.

6.5 MOŽNOSTI PRE ZLEPŠENIE

Tu popisujem detaily, ktoré by mohli prispieť k lepšej činnosti, prípadne k zjednodušeniu práce s MSW.

Výroba originálneho adaptéru riadenia. Predpokladám, že pri terajšom použití časti volantu Škoda môže nastať situácia, kde nie je možné úplne nasadiť adaptér na tyč, pretože budú zavadzať vysunuté konektory airbagu. Na túto skutočnosť bude treba prihliadnuť a v prípade potreby demontovať originálny navíjací mechanizmus FFC kábla. Predpokladaná výrobná cena je 4000 Kč.

Ochrana kabeláže. V demonotovanom stave je možné otočiť stredom MSW tak, že sa FFC kábel napne a hrozí jeho vytrhnutie. Navrhujem riešenie, kde by sa pri prvom použití nasadzoval MSW pri maximálnom vybočení kolies, tj. krajnej polohe volantu a to do smeru, kde sa špirála kábla zmenšuje na priemere. Pri zachovaní určitej rezervy v napätí nasadiť MSW, dodržať orientáciu rysiek (spomenuté vyššie) a určiť nulovú polohu. Ďalšia možnosť je vytvoriť na kryte okienko, cez ktoré bude možné sledovať vinutie. Všeobecne by bolo dobré využiť aretačný systém na zamedzenie otáčania po demontáži.

Zmeranie predpätia v remeni. Overilo by sa tým, aké radiálne zaťaženie pôsobí na hriadeľ snímača polohy.

Pevnostná analýza s využitím MKP. Predpokladám, že s danými materiálmi a komponentmi nehrozí žiadne poškodenie, ale bolo by zaujímavé túto metódu aplikovať.



7 CENOVÁ KALKULÁCIA

Tab. 4: Súhrn výdavkov

Názov položky	Predajná cena	Nákupná cena	Prevod z meny
Lorenz D-2268	65000 Kč	65000 Kč	
Pepperl-Fuchs UVM36M	20000 Kč	0 Kč	811 USD
Čelo	774 Kč	774 Kč	
Príruba	3751 Kč	3751 Kč	
Základňa	5264 Kč	5264 Kč	
Adaptér volantu	1488 Kč	1488 Kč	
Nákrúžok snímača	6534 Kč	6534 Kč	
Kábel Sumida FFC 10 m	nepredajné	0 Kč	
Remenica Misumi 19	821 Kč	821 Kč	29,40 EUR
Remenica Misumi 38	821 Kč	821 Kč	29,40 EUR
Adaptér remenice Misumi	778 Kč	778 Kč	28,80 EUR
Remeň PowerGrip GT3	127 Kč	127 Kč	4,80 EUR
Volant RRS Rally	990 Kč	990 Kč	
Spojovací materiál	195 Kč	195 Kč	
Konektory binder	420 Kč	0 Kč	15,20 EUR
Ložisko 6821 2RS	900 Kč	900 Kč	
Volant Škoda	200 Kč	200 Kč	
Celková cena	108063 Kč	87643 Kč	



ZÁVER

Cieľom tejto diplomovej práce bolo na základe vedomostí, skúseností a zozbieraných poznatkov vytvoriť konštrukčný návrh meracieho volantu. Jeho účelom bude meranie veličín krútiaci moment v riadení a poloha volantu vozidla, ktoré nám umožnia komplexnejšie chápanie dynamických dejov, hlavne limitných stavov jazdy. Súčasťou bola aj voľba vhodných snímačov použiteľných pre dané účely. Vo výsledku bol vyrobený prototyp zariadenia. Jeden bod zadania sa mi nepodarilo splniť, a to otestovanie prototypu. Zdlhavím riešením niektorých kľúčových častí sa oneskorila výroba a nebolo možné v termíne odovzdania práce nasadiť produkt do testu.

Smerovanie v počiatku návrhov určili zvolené snímače. Konkrétna voľba bola najlepším možným pomerom presnosti, použiteľnosti a predovšetkým ceny. Obmedzený rozpočet bol viac motivátorom, ako obmedzením. Tým som sa dopracoval k dôslednému preskúmaniu možností, ako je možné kombinovať hotové komponenty rôznych výrobcov a spôsoby výroby dielov. Dostal som sa k dvom finálnym variantám, označeným ako Evo 2 a Evo 3. Snahou bol odlišný prístup ku konštrukcii vyrábaných dielov za predpokladu použitia rovnakých nakúpených komponentov. Snažil som sa o taký dizajn, aby nebolo potrebné dodatočne upraviť žiadny kupovaný komponent. Tento prístup má výhodu z hľadiska úspory financií a času. Je potrebné myslieť na možnosť poruchy a jednoduchú výmenu poškodeného dielu bude vždy tou najjednoduchšou a najrýchlejšou voľbou. Po diskusii s vedúcim práce boli zhodnotené kladné a záporné vlastnosti variant a Evo 3 bola zvolená pre ďalší vývoj a finálnu výrobu. Merací volant bude nutné dodatočne uviesť do plne funkčného stavu a overiť jeho vlastnosti. Základným testom bude porovnanie výstupov Evo 3 a riadiacej jednotky vozidla.

Dobrá výsledok sa podarilo dosiahnuť z hľadiska nákladov na výrobu. Dokázal som zostať pod určeným limitom rozpočtu a predpokladám, že keby sa vyrábali aj kryty a adaptér, financie by boli stále dostačujúce. V porovnaní s komerčnými riešeniami (na základe poptávanej ceny) sú náklady niekoľkonásobne nižšie pri porovnateľnej deklarovanej presnosti snímačov.

Ako ďalší krok v tomto smere si predstavujem využitie MSW ako súčasť systému, ktorý by spätnou väzbou zlepšoval dynamické vlastnosti vozidla v reálnom čase. Tieto systémy už existujú, ale vždy je priestor na zlepšovanie a pokrok.

Pre mňa táto úloha znamenala zhrnutie schopností a vedomostí, ktoré som získal v živote a počas štúdia. Originálna téma, kontakt s priemyslom, finančný a časový limit a v neposlednom rade reálny výstup boli dobrým tréningom pre prechod od štúdia ku kariére.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] GILLESPIE, T. *Fundamentals of vehicle dynamics*. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, 1992, xxii, 495 p. ISBN 15-609-1199-9.
- [2] MILLIKEN, William F. *Race car vehicle dynamics*. Warrendale: SAE International, 1995, xxviii, 890 s. ISBN 15-609-1526-9.
- [3] JÖRNSSEN REIMPELL, Helmut Stoll a translated from the German by AGET LIMITED. *The automotive chassis engineering principles: chassis and vehicle overall, wheel suspensions and types of drive, axle kinematics and elastokinematics, steering, springing, tyres, construction and calculations advice*. 2nd ed. Oxford: Butterworth Heinemann, 2001, xxviii, 890 s. ISBN 07-506-5054-0.
- [4] *Bosch sensoren* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://aa-boschap-de.resource.bosch.com/media/internet_public/parts/engine_systems_auto_parts_1/braking_systems/sensoren_lenkwinkel_exp_734x350.jpg
- [5] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel* /. Vyd. 2. Brno: Prof.Ing.František Vlk,DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006, 432 s. ISBN 80-239-0024-2.
- [6] *Estimation and Control of Lateral Tire Forces* [online]. HSU, Judy a Chris GERDES. 2009 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <https://ddl.stanford.edu/tireforcecontrol>
- [7] *RLS Rotary Absolute Encoder AkSIM* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.rls.si/aksim-off-axis-rotary-absolute-encoder>
- [8] *Quadrature* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://www.dynapar.com/uploadedImages/_Site_Root/Technology/Encoder_Basics/quadrature.jpg
- [9] *Virtual AbsoluteTM Theory* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://gurley.com/Virtual_Absolute/Image3.gif
- [10] *Encoder UVM36M* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://files.pepperl-fuchs.com/selector_files/navi/productInfo/pd/b232881a.png
- [11] *Battery Powered Encoder* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://www.azosensors.com/images/Article_Images/ImageForArticle_555%283%29.jpg
- [12] *Magnetic Optical Encoder* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: https://www.posital.com/media/posital_media/pictures_1/test/optical-magnetic.jpg
- [13] *Wiegand effect* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: https://www.posital.com/media/posital_media/pictures_1/test/multiturn.jpg
- [14] *Wheatstone Bridge and Shear Strain Gage* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <https://shpice.files.wordpress.com/2013/03/whetestoen-bridge.png>



- [15] *How a Loadcell works* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://www.ishida.com/technologies/loadcell/img/en/tec_load_07.jpg
- [16] Wheatstone bridge. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Wheatstone%C5%AFv_m%C5%AFstek#/media/File:Wheatstonebridge.svg
- [17] *Measuring Wheel FCA 7300* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://www.meas-spec.com/uploadedImages/Sensor_Types/Torque/Products/FCA7300_600.jpg
- [18] *Kistler MSW* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://source.theengineer.co.uk/pictures/633xAny/0/9/6/2030096_4465-KISTLER-MEASUREMENT-STEERING-WHEEL-HR.jpg
- [19] *ATi Telemetry MSW* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://www.atitelemetry.com/wp-content/uploads/2013/04/1_DSC00005B.jpg
- [20] *KMT CLS Measuring Steering Wheel* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.kmt-telemetry.com/telemetry-steering-wheels/>
- [21] *Forsentek Load Cell* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://i00.i.aliimg.com/wsphoto/v0/1704291148/Pull-load-cell-50kg-pull-force-sensor-500N-pull-push-force-measurement.jpg>
- [22] *Lorenz Drehmoment sensor* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.lorenz-messtechnik.de/images/produkte/drehmoment/statisch/d2268.jpg>
- [23] *AiM Steering Angle Sensor* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <https://www.pegasusautoracing.com/images/L/MC-180.JPG>
- [24] *Steering Sensor Application* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.fastech-racing.com/images/thumbs/aaebe153f2a531f0cea8a5aa26365ef5.jpg>
- [25] *Wire Sensor Mounting* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://rennlist.com/forums/attachments/data-acquisition-and-analysis-for-racing-and-de/901751d1420994847-suggestions-recommendations-steering-angle-sensor-mounting-steering-pos-2.jpg>
- [26] *Headset Services* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.headsetservices.com/images/hsmp1501.jpg>
- [27] *Removing Audi TT steering wheel* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://images57.fotki.com/v1418/photos/4/41970/4367062/trim047-vi.jpg>
- [28] *Imc CronosFlex* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.imc-berlin.de/typo3temp/pics/6e7efd5762.jpg>



- [29] *Clock Spring Cable Patent Drawings* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://patentimages.storage.googleapis.com/pages/US5637005-10.png>
- [30] *Senzory a převodníky*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 136 s. ISBN 80-010-3123-3.



ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

ω	[rad.s ⁻¹]	Uhlová rýchlosť
L	[mm]	Dĺžka vodiča
D	[mm]	Priemer kruhu
h	[mm]	Hrúbka vodiča
N	[-]	Počet vinutí
φ	[rad]	Uhlová dráha
MSW		Measuring Steering Wheel
R	[Ω]	Elektrický odpor



ZOZNAM PRÍLOH

P1: Materiálový list GLEICH Aluminium EN AW 7075

P2: Technická špecifikácia Lorenz D-2268

P3: Technická špecifikácia Pepperl – Fuchs UVM36M

P4: Technická špecifikácia imc CronosFlex DCB

P5: Výkresová dokumentácia